

2.

HORIZONTALPENDELBEOBSACHTUNGEN IM MERIDIAN

ZU

STRASSBURG I. E.

VON APRIL BIS WINTER 1895

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU STRASSBURG I. E.

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT VON

REINHOLD EHLERT

LEIPZIG

WILHELM ENGELMANN

1896.

1

Von der Fakultät genehmigt am 29. Februar 1896.

MEINEM LIEBEN GROSSVATER

IN

DANKBARKEIT

ZUGEEIGNET.

I n h a l t.

	Seite
Einleitung	3—18 (18)
1. Einführung	3— 4
2. Beschreibung	4— 8
Theil I. Periodische Schwankungen der Lothlinie und Bewegung des	
Nullpunktes	8 (19)—65
1. Tägliche Periode	19—43
a) Rechnung	19—24
b) Theoretisches	25—43
2. Lothschwankungen unter dem Einfluss der Anziehung des Mondes	43—60
a) Nach dem Schema der „harmonischen Analyse“	43—45
b) Aus den monatlichen Veränderungen der solaren Periode .	45—53
1. Rechnung	45—49
2. Theoretisches	50—53
c) Durch Verschieben und Aufeinanderdecken	53—60
1. Rechnung	53—56
2. Verhältniss von Anziehung zur Deformation	56—60
3. Untersuchung der Nullpunktsbewegung	60—65
Theil II. Unperiodische, kurze Bewegungen	65—81
Einleitung	65—66
1. Mikroseismische Bewegung	66—69
2. Pulsationen	69—73
3. Erdbebenstörungen	73—80
a) Allgemeines	73—75
b) Verzeichniss	76—78
c) Statistik	79—80
Anhang. Vorschlag zu einem neuen Pendelapparat	81—87
a) Theoretisches	81—84
b) Beschreibung	85—87

Einleitung.

Die Eigenschaft des Horizontalpendels, kleinen Neigungsänderungen des Lothes mit grosser Empfindlichkeit zu folgen und dieselben in sehr bedeutender Vergrösserung abzubilden, ermöglicht seine Verwendung zur Beobachtung von gewissen elastischen Bewegungen der Erdrinde. Vor allem die Form der Aufhängung mit Stahlspitzen in Achatlagern, die Einrichtung einer permanenten, photographischen Registrirung und diejenige Anordnung der Rechnungen, wie sie Dr. E. v. Rebeur-Paschwitz in mustergültiger Weise eingeführt hat, erheben das Instrument zu dem höchsten Range in einem der interessantesten und doch verhältnissmässig wenig betretenen Gebiete der geophysikalischen Forschung.

Es lag daher nahe, dass nach dem Abschluss der v. Rebeurschen Beobachtungen in Strassburg am 4. September 1893 eine Wiederaufnahme derselben um so eher erstrebt wurde, als die Umstände für die Aufstellung und Bedienung des Apparates ebenso günstig wie früher geblieben waren. Denn Herr Prof. Dr. E. Becker gestattete in gütigster Weise die Benutzung des schon früher in Anspruch genommenen Kellerraumes der Sternwarte. Herr Professor Dr. G. Gerland ermöglichte die Wiedereinrichtung der Beobachtungen von Seiten des geographischen Seminars der hiesigen Universität, und es sei mir daher an dieser Stelle gestattet, ihm, der zu dieser Arbeit die Anregung gegeben und sie überhaupt ermöglicht hat, sowohl hierfür, als auch für das freundliche Interesse, welches er den Beobachtungen während der ganzen Zeit gewidmet hat, meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Die Geschichte des Horizontalpendels ist in ihren älteren Theilen bereits von Zöllner¹⁾ und Šafařík²⁾ behandelt, in ihrem späteren Verlaufe in einer Uebersicht von Hecker³⁾ kurz zusammengestellt worden und es ist daher nicht nothwendig, hier die bekannte Entwicklung des Problems über Gruithuisen, Hengler, Perrot, Zöllner, Chaplin, Gray und Ewing hin bis zu dem der Wissenschaft leider viel zu früh entrissenen Privatdozenten der Astronomie in Halle, Dr. Ernst von Rebeur-Paschwitz, zu wiederholen.

Erst letzterer gab dem Horizontalpendel eine Form, welche geeignet war, zu Untersuchungen so subtiler Art zu dienen, wie sie Gruithuisen und Zöllner anstrebten. Seine bekannten Beobachtungen in Potsdam, Wilhelmshafen, Puerto Orotava und Strassburg geben hiervon das glänzendste Zeugniß. Ebenso sind die im Folgenden niedergelegten Untersuchungen aus den Aufzeichnungen eines seiner Instrumente gewonnen.

Eine ausführliche Beschreibung des Apparates und der Registrirung nochmals zu wiederholen, ist hier überflüssig; es wird indessen zur Orientierung nothwendig sein, das Prinzip und die Haupttheile in Kürze zu erläutern.

Der Pendelkörper, ein leichtes, geeignet äquilibrirt Dreieck aus dünnen Messingröhren, hängt mit seinen an den Basisenden befindlichen Achatschalen derart auf zwei Stahlspitzen, dass es um eine Drehungsachse schwingt, welche nahezu vertikal steht. Diese selbst ist die Verbindungslinie der beiden Berührungspunkte der Spitzen mit den Lagerflächen. Um den Reibungswiderstand auf ein Minimum zu bringen, sind die Spitzen, die obere mit der Basis, die untere mit dem Ende, gegen den Schwerpunkt des Systems gerichtet. Das Ganze ist auf einem schweren, gusseisernen, auf drei massiven Fuss-schrauben ruhenden Grundgestell befestigt. Es ist dann klar, dass das Pendel um seine augenblickliche Gleichgewichtslage um so langsamer schwingt, je mehr die Drehungsachse sich der Richtung der Schwerkraft nähert. Fallen beide Richtungen zusammen, so ist die Schwingungsdauer $2 T = \infty$, d. h. das Pendel ruht in jeder beliebigen Lage, da es sich an der Grenze des stabilen und labilen Gleichgewichts befindet. Nun ist es vortheilhaft, die Schwingungsdauer so

1) Wissenschaftl. Abhandl. v. Zöllner. Bd. 4. pag. 325.

2) Poggendorffs Annalen. Bd. 150. pag. 150 ff. 1872.

3) Hecker, Das Horizontalpendel. Zeitschrift für Instrumentenkunde. Bd. XVI. Jan. 1896.

gross zu machen, als mechanische Unvollkommenheiten es irgend zu lassen, dass andererseits aber eine vorherrschende Null-lage erhalten bleibt, so dass das Pendel zu dieser symmetrisch zu schwingen vermag. Der kleinste Winkel, den die Drehungsachse mit der Vertikalen ohne Umschlagen des Pendels bilden kann, ist nach v. Rebeur bei diesem Apparate 121'', wobei die halbe Schwingungsdauer T den grössten Betrag von 17^s hat. Wächst jener Winkel, so nimmt T ab und bei horizontaler Achse erreicht T sein Minimum T_0 , welche Grösse aus 13×30 Doppelschwingungen zu

$$0^s,4071 \pm 0^s,0003$$

bestimmt wurde. Ist i der Winkel zwischen der Vertikalen und der Drehungsachse, so ist: $\sin i = \frac{T_0^2}{T^2}$ und, da T_0 konstant ist, T allein die Charakteristik für die Empfindlichkeit des Pendels bezüglich der Neigungsänderungen ¹⁾. — Die Registrirvorrichtung ist die folgende. Durch einen in der Drehungsachse des Pendels befindlichen Hohlspiegel von 89,15 cm Krümmungsradius wird das auf ihn geworfene Lichtbild eines Spaltes auf eine in 24^h einmal rotirende, horizontal liegende Walze geworfen, welche mit Bromsilber-Gelatine-Papier (Dr. Stolze, Marke F) belegt ist. Dies Bild wird durch eine horizontal davor liegende Cylinderlinse von 5 cm Brennweite zu einem Lichtpunkte konzentriert, welcher möglichst hell, klein und scharf zu machen ist. Es ist klar, dass sich bei einer Bewegung des Pendels der Lichtpunkt bewegt, und dass nach der Entwicklung des photographischen Papierstreifens eine, jene Bewegung abbildende, Kurve erscheinen wird. Zur Zeitmarkirung und zur Kontrolle der unveränderten Stellung des Apparates ist unter dem halbkreisförmigen Hohlspiegel, diesen mit kurzer Unterbrechung zu einem Vollkreise ergänzend, ein fester Spiegel angebracht, dessen Bild jede Stunde von dem die Walze bewegendem Uhrwerk durch einen Schirm von 5^m vor Voll bis Voll abgeblendet wird. Die Entfernung der Walze von dem Spiegel betrug $d = 1788$ mm. Um nun den Winkel zu finden, um den sich die Lothlinie drehen muss, damit sich der Lichtpunkt auf der Walze um 1 mm verschiebt, hat man die oben charakterisirte Empfindlichkeit $\frac{T_0^2}{T^2}$, welche i umgekehrt proportional ist, mit $\frac{1}{2 d \cdot \sin 1''}$ zu multi-

¹⁾ v. Rebeur in Nova acta acad. Caes. Leopold. Bd. 60. pag. 21 ff. Ders. in Beiträge zur Geophysik, herausgegeben von Prof. Dr. G. Gerland, Bd. II. pag. 498 ff.

plizieren. Dieser Winkel heisst die Reduktionskonstante. Da die Lothlinie in allen Richtungen schwankt, wurde jeden Monat durch Beobachtung von T diese Grösse bestimmt, was durch wiederholtes Abwarten von etwa $10 \times 2T$ und Zeitnotirung geschah.

Der ganze Apparat ist wie früher in dem Keller des Meridianbaues der hiesigen Sternwarte und zwar an dem Fusse des Pfeilers, welcher das Cauchoiix'sche Passageninstrument trägt, an dessen Ostseite auf einem 15 cm starken, im November 1891 angebrachten Sandsteinkonsole in drei festgegypsten Fussplatten aufgestellt. Oestlich davon befinden sich, ebenfalls festgegypst, Registrirapparat und Lampe auf Cementböden, in Schutzkästen eingehüllt. Der Apparat selber steht wegen der meist 85% betragenden relativen Feuchtigkeit, um ein Erblinden der Spiegel zu verhindern, bei Chlorcalcium unter einer gedichteten Glasglocke, und überdies noch in einem grösseren Schutzkasten. Der Pfeiler sitzt in 5 m Tiefe unter der äusseren Erdoberfläche auf dem Grundboden auf, und er ist von dem Gebäude völlig isolirt. Die Luft der Atmosphäre hat freien Zutritt zu dem Pfeilerfusse; wegen des guten Wärmeaustausches in der Luft und vor allem des hochstehenden Grundwassers hat man daher das Fundament bezüglich seiner thermischen Eigenschaften nicht etwa als einer Bodenschicht von 5 m Tiefe, sondern der versenkten Erdoberfläche angehörig zu betrachten. Der Pfeiler wirkt wie ein elastischer Zeiger und vergrössert die Bodenschwankungen ein wenig.

Die tägliche Bedienung des Apparates, bestehend im Wechseln des Papierstreifens, Auffüllen und Auswechseln der Benzinlampen, Vergleichen der Registriruhr mit dem Chronometer Schweizer 58, Ablesen des Thermo- und Hygrometers, sowie im Führen eines diesbezüglichen Journals, endlich die erforderlichen Korrekturen, sobald der Lichtpunkt die Registrirfläche zu verlassen drohte — dies alles wurde wie früher von dem Pförtner und Rechner der Sternwarte, C. Sabel, besorgt. Ihm ist die lückenlose Fortführung monatelanger Registrirungen zu danken.

Ueber den Verlauf der Beobachtungen sei Folgendes bemerkt. Am 23. April 1895 wurde eine neue Walze mit zuverlässiger Uhr eingestellt. Dabei wurde die Drehgeschwindigkeit gegen früher verdoppelt, sodass eine Rotation nun in 24^h vollendet wurde. Es erschien dies trotz der erhöhten Kosten vor allem für die seismischen Erscheinungen und besonders für die Pulsationen vortheilhaft zu sein, da kurzperiodische Figuren nun weiter auseinandergezogen erscheinen und daher deutlicher erkannt und unterschieden

werden können. In der That besitzen alle Störungsfiguren in den Photogrammen den Charakter grösster Deutlichkeit. Unter diesen Umständen und bei ca. 56 cm Walzenumfang beträgt die Länge einer Stunde 22,06 mm, so dass die Länge von 1 mm in $2^m 43^s$ durchmessen wird. Die Ordinaten der Kurven wurden stündlich durch eine aufgelegte Glastafel mit mm^2 -Theilung gemessen, wobei 0,1 mm geschätzt wurden. Bei Versetzungen des Pendels in eine neue Gleichgewichtslage, wobei die Kurve sich parallel zu sich selbst verschiebt, sowie bei allen künstlichen Korrekturen, wurden entsprechende Konstanten addirt und überhaupt von einer beliebigen Grösse (150 cm) ausgegangen, um negative Werthe zu vermeiden. Die jetzige Aufstellung ist derart, dass abnehmende Zahlen der Ordinaten eine Bewegung des Lothes und Pendels nach Norden, zunehmende eine solche nach Süden darstellen. Wegen der neuen Aufstellung der Registriruhr ist diese Bezeichnung derjenigen von v. Rebeur entgegengesetzt, aber dieser Hinweis wird genügen, um bei Vergleichen Missverständnisse auszuschliessen, zumal in den einzelnen Fällen dieser Verschiedenheit stets gedacht werden wird.

Wie die unten folgende Tabelle I der stündlichen Ordinatenwerthe zeigt, ist mit Ausnahme der ersten Hälfte des April im Ganzen ein lückenloser Bestand vorhanden. Zu Anfang wurden wegen Stehenbleibens der schlechten Uhr öfters Stunden eingebüsst; Versuche mit schmälereu Streifen, welche fehlschlügen, auch das unerwartete Herabwandern des Lichtpunktes von der Walze bei zu grosser Empfindlichkeit sind die Ursachen fernerer kleiner Lücken. Der 9. und 10. Juni — es waren immer zwei Tage auf einem Bogen vereinigt — gingen durch irrthümliches Aufziehen eines Umhüllungsbogens verloren; den 24. und 25. Juni endlich büsste ich durch unvorsichtiges Trocknen des entwickelten Bogens ein, wobei die Gelatine zerfloss. In beiden Fällen aber war die Interpolation wegen der normalen Nachbartage sehr sicher. —

Die Beobachtungen wurden in der Richtung des Meridianes fortgeführt, weil es nicht möglich war, den Registrirapparat ohne grosse Umstände nördlich oder südlich von dem Pendel aufzustellen. Dann aber war es eine für den Anfang sehr werthvolle Kontrolle für die eigenen Resultate, wenn Ergebnisse derselben Art zur Vergleichung herangezogen werden konnten, auch musste ein guter Anschluss an die frühere Reihe, abgesehen von dem Interesse, Veränderungen in analogen Erscheinungen zu erkennen, eine nicht zu unterschätzende Sicherheit gewährleisten. Indessen ist Hoffnung

vorhanden, dass nach Abschluss dieser Reihe im Oktober oder November 1896 durch Aufstellung eines im Anhang zu beschreibenden, dreifachen Pendels diesem Mangel, die Oscillationen im ersten Vertikal zu verlieren, abgeholfen wird. Eine Neigung i des Lothes unter dem Azimutalwinkel α gegen den Meridian wird ja in dem Betrage $i \cdot \cos \alpha$ beobachtet; daher gehen meridionale Oscillationen völlig, ostwestliche gar nicht ein.

Wir beginnen nun mit der Auswerthung des Beobachtungsmateriales und wollen zuerst die tägliche Periode, sodann die Mondwelle nach den drei Rebeur'schen Methoden, und endlich die Nullpunktsbewegung diskutieren. Hierbei wird sich Gelegenheit finden, einiges Neue zur Mechanik und zur geometrischen Verdeutlichung der verschiedenen Perioden beizutragen. Im zweiten Teile werden die Bewegungen von kurzer Dauer, also mikroseismische Erzitterungen und Pulsationen, zur Besprechung kommen, sowie das Verzeichniss der beobachteten Erdbebenstörungen seine Stelle finden, welche letztere indes zu bearbeiten die Zeit noch nicht gekommen ist. Als Anhang endlich folgt die Beschreibung eines noch zu konstruirenden kombinierten, dreifachen Pendels, welches, in Verbindung mit einer anderen Station, die Richtung der Erdbebenstösse eindeutig anzuzeigen im Stande ist.

Tabelle I.

Beobachtungen.

Ordinaten in cm.

Die Zeit von Mittag (0^h) bis Mittag gerechnet; um negative Zahlen zu vermeiden, ist zu allen Zahlen die Konstante von 150 cm addirt. Es bedeutet:

T die Schwingungsdauer bei vertikaler Achse.

T_0 die Schwingungsdauer bei horizontaler Achse.

d den Abstand: Walze-Spiegel in mm.

R die Reduktionskonstante.

C den Stundenwinkel des Mondes im mittleren Mittag.

k u. T in der Beobachtungsreihe bedeuten bezw. künstliche Korrektion u. Bestimmung der Schwingungsdauer T. Eingeklammerte Zahlen sind interpolirt.

1895

März												April											
h	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0		16109	15948	15721	15299	15336	15272	—	—	14904	14784	14652	—	—	13898	13837	12981	11052	—	9121	9104	9128	9128
1		05	43	19	15315	37	70	—	—	14898	80	51	—	—	13900	33	78	34	—	23	09	31	34
2		05	43	10	23	37	71	—	—	88	76	50	—	—	09	—	67	15	—	30	11	38	37
3		00	42	04	34	37	71	—	—	80	71	46	—	—	18	Uhr	55	10990	—k	39	26	40	42
4		16092	42	02	46	35	67	—	—	73	69	45	—	—	28	steht	44	68	—	50	40	41	50
5		89	35	15695	67	31	68	—	—	63	68	40	—	—	26	—	31	39	—	58	39	50	61
6	16205	82	26	81	70	28	63	—	—	54	63	35	—	—	22	—	04	10887	—	55	37	51	61
7	16198	74	16	60	k—	27	58	—	—	46	60	26	—	—	18	—	12852	40	—	48	33	49	50
8	90	64	05	43	—	24	53	—	—	38	58	19	—	—	16	—	07	00	—	40	33	45	57
9	82	58	03	24	56	19	51	—	—	31	52	12	—	—T	10	13744	12760	10770	9225	34	32	43	53
10	76	49	15892	00	63	17	43	—	—	27	49	00	—	—	09	19	12697	20	14	30	30	41	50
11	69	39	83	15573	62	11	34	—	—	23	43	14590	—	—	06	13668	32	10647	08	29	29	39	48
12	62	31	74	47	57	08	27	—	—	19	39	78	—	—	05	47	12590	10594	9193	21	28	38	45
13	58	24	62	18	55	00	24	—	—	15	28	59	—	—	13899	08	31	34	84	18	28	32	41
14	52	14	49	15488	54	15298	14	—	—	07	20	49	k—	—	97	13558	12442	10444	72	12	21	—	38
15	48	04	39	54	49	90	04	—	—	00	09	20	—	—	90	08	12351	—	59	08	20	Uhr	34
16	39	15996	26	28	45	87	15196	—	—	14799	14699	14495	—	—	87	13458	12241	—	40	9099	20	steht	30
17	35	86	11	15396	40	80	91	—	—	97	89	70	—	—	80	08	12108	—	29	90	19	—	28
18	28	78	15794	59	34	78	83	—	—	90	79	41	—	—	72	13349	11907	—	21	86	16	—	28
19	24	67	78	34	30	72	77	—	—	90	69	20	—	—	67	13272	—k	—k	20	81	14	13	29
20	21	59	56	15292	30	67	70	—	—	89	62	—	—	—	60	00	—	—	19	80	18	13	33
21	20	55	41	k—	32	65	60	—	—	88	58	—	—	—	56	13129	11086	—	19	83	19	13	39
22	19	50	31	74	32	69	—	—	—	87	55	—	—	—	48	13048	80	—	T20	90	21	14	42
23	14	49	26	88	35	71	—	—	—k	85	53	—	—	—	40	k—	72	—	20	98	23	21	49
		T 14 ^s ,32 ± 0 ^s ,05			T ₀ 0 ^s ,4071 ± 0 ^s ,0003										T ca 14 ^s		Tca 13 ^s ,9						
		d 1810													R ca 0 ^s ,048		Rca 0 ^s ,049						
		R 0 ^s ,0461																					
C					19	18	17	16	15	15	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	5	4	4

1895

April												Mai														
h	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	9152	9190	9253	9322	9348	9388	9400	9352	9339	9301	9280	9269	9260	9111	8205	7645	7584	6959	6125	6065	6047	6105	6174	6261	6368	6384
1	61	99	61	33	51	89	05	58	39	04	86	77	50	09	8102	42	k83)	k19	19	66	56	09	82	70	k78	85
2	70	9205	77	42	56	90	01	61	39	05	88	84	43	08	8004	33	83	20	13	62	63	18	88	80	81	59
3	74	13	90	52	60	90	9395	60	40	07	97	91	37	09	7912	30	82	21	15	59	68	28	6200	91	84	90
4	85	22	9310	k55	64	91	93	60	41	07	96	9302	35	11	7813	25	83	21	14	58	78	38	14	6309	88	90
5	93	25	38	50	62	93	88	65	40	07	90	06	36	05	7768	22	85	22	12	59	87	54	32	23	90	90
6	92	30	57	45	62	95	87	60	39	07	89	k09	36	9088	23	22	85	15	10	57	88	59	38	28	91	89
7	Uhr	31	63	42	62	94	82	58	38	03	88	07	32	71	00	21	73	02	04	56	88	58	39	30	88	88
8	steht	31	k64	41	62	93	81	52	37	00	87	01	28	43	7682	13	53	6891	01	54	88	56	39	30	85	87
9	85	31	70	40	61	92	80	49	31	9297	83	9299	23	18	k65	12	36	78	6094	52	87	54	39	30	84	84
10	84	31	50	40	61	90	80	49	29	96	79	95	16	8988	70	03	31	59	91	47	86	53	39	30	83	82
11	82	29	41	35	61	90	80	48	28	91	78	89	05	59	65	02	16	47	86	44	88	52	39	30	83	78
12	80	28	34	32	61	90	75	43	26	89	77	88	9195	24	63	00	7499	19	84	43	86	50	39	31	82	74
13	73	25	32	31	61	90	70	39	25	87	76	82	85	8882	62	7594	78	6783	83	41	85	50	38	31	81	72
14	70	—	31	30	60	88	68	37	22	87	70	77	74	35	56	91	51	07	76	40	83	50	38	31	81	70
15	66	Uhr	23	27	60	84	63	30	20	85	67	69	64	8783	53	85	24	6640	72	35	81	49	37	32	80	64
16	62	steht	22	25	58	81	60	27	19	81	60	62	53	33	51	81	7399	6540	65	31	79	48	33	32	80	61
17	60	—	14	23	53	79	54	20	17	77	57	59	41	8682	48	75	44	6408	64	28	78	46	32	32	79	53
18	58	—	13	20	53	79	50	19	12	76	55	57	28	34	45	75	7270	6277	61	29	77	44	33	33	78	45
19	59	26	12	24	60	82	50	27	10	76	52	59	23	8592	41	78	12	6199	56	31	79	48	39	40	76	40
20	62	32	13	29	68	91	43	27	07	75	55	65	15	43	42	82	7120	k60	57	39	86	55	41	49	78	33
21	70	38	kT	31	74	k99	44	28	01	76	58	64	14	8491	43	83	7070	49	61	40	90	60	45	50	81	25
22	78	43	Walze	49	80	97	48	29	00	77	63	63	13	k32	42	k(84	50	43	63	k42	96	62	51	52	81	20
23	82	50	—	42	84	97	51	37	00	78	66	61	13	8330	44	35	12	32	64	44	6100	70	57	56	82	13
												T 13,38 ± 0,05														
												d 1788														
												R 0°,0534														
												R 0°,0695														
C	3	2	2	1	0	0	23	22	21	20	19	18	18	18	16	15	14	13	12	12	11	10	9	8	7	6

1895

Mai												Juni																							
h	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
0	6305	6024	5786	5558	5592	5627	5688	5736	5767	5782	5781	5799	5813	5816	5856	5911	5996	6067	6098	6154	6225	6252	6285	6297	6300	6312									
1	01	09	76	48	94	30	89	39	72	83	87	5800	14	20	58	18	6003	68	6103	62	28	54	89	97	02	15									
2	6293	5996	70	48	95	36	95	48	78	84	89	04	17	27	66	24	09	69	08	67	33	55	95	6302	04	18									
3	90	77	65	38	97	37	97	56	87	85	91	08	19	36	76	33	19	75	15	73	39	62	97	03	07	21									
4	85	66	59	39	99	41	95	57	98	88	91	14	21	42	85	39	28	78	24	76	43	62	6301	04	10	25									
5	75	57	54	47	5604	46	94	65	5804	88	91	22	26	51	96	47	37	85	32	83	44	63	06	06	12	29									
6	68	46	46	54	08	47	94	67	09	87	91	29	27	55	99	51	37	87	33	86	42	64	12	08	14	32									
7	61	36	36	57	10	48	91	68	07	84	90	32	20	53	99	51	39	87	34	92	42	64	14	07	13	34									
8	53	26	24	58	10	50	89	68	01	83	89	31	18	49	97	51	40	87	34	93	42	66	13	05	13	36									
9	43	17	k08	58	10	53	88	68	5799	82	89	29	13	47	97	53	43	87	34	95	42	67	13	04	13	38									
10	24	07	05	59	09	55	89	66	96	80	89	27	10	46	97	56	45	87	34	96	42	69	13	04	12	39									
11	11	5897	5696	61	07	57	91	65	92	80	88	23	09	43	96	56	47	85	34	96	43	72	13	03	11	40									
12	6195	86	87	61	09	57	94	63	89	79	87	21	07	41	91	54	45	84	33	99	42	74	13	01	09	40									
13	83	78	77	64	09	58	95	59	88	79	85	19	02	38	91	54	46	83	33	6201	41	73	12	6299	06	41									
14	70	71	69	66	09	59	96	57	85	79	84	18	01	37	91	55	47	81	32	01	41	74	08	97	04	41									
15	57	59	57	67	09	59	96	55	81	79	83	17	5799	36	91	56	47	81	31	02	40	74	06	95	01	42									
16	52	49	47	69	09	59	96	53	78	78	83	12	97	33	92	57	47	81	29	02	40	74	04	94	6299	44									
17	24	38	39	73	09	61	96	49	74	77	82	09	92	30	92	58	47	81	26	02	40	74	02	91	97	46									
18	11	27	26	76	10	65	97	49	75	77	81	07	90	30	93	59	47	82	26	03	41	74	6297	92	99	48)									
19	6093	23	14	78	11	66	5703	50	76	78	81	01	92	30	98	61	52	87	33	04	42	77	6302	93	6302	49									
20	76	13	01	80	15	74	09	56	77	71	81	05	98	42	98	71	52	88	33	12	43	79	00	(95	04	48									
21	63	06	5589	85	17	77	16	57	78	73	87	09	99	47	99	73	54	88	36	r 18	44	82	6299	96	06	47									
22	49	5798	77	87	19	85	22	63	79	75	89	10	5801	48	5901	80	59	90	43	22	45	79	97	98	08	50									
23	36	93	67	90	25	87	28	66	81	77	92	11	11	52	04	88	62	96	47	24	46	82	97	99	10	53									
												T = 11',69 ± 0',083 R = 0'',0699																							
C	6	5	4	4	3	2	1	0	0	23	22	21	20	19	19	18	17	16	15	15	14	13	12	11	10	9									

1895

Juni												Juli														
h	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6
0	6354	6354	6264	6148	6045	5902	5716	5493	5505	5575	5612	5612	5546	5583	5562	5376	4872	4813	4815	4881	5005	5089	5003	4709	4491	4311
1	55	54	62	46	42	5895	5692	93	13	80	13	04	47	86	58	34	70	14	16	88	10	87	4993	4680	85	09
2	56	54	59	45	34	92	67	94	18	83	14	5598	54	88	56	5291	62	14	17	98	20	82	85	53	79	4289
3	57	48	56	40	26	91	37	98	25	84	15	94	56	96	56	48	60	18	19	4909	30	80	80	33	72	71
4	57	43	47	35	25	88	22	5502	35	85	17	85	65	5601	56	5196	60	23	21	20	38	80	70	15	71	51
5	56	34	43	28	26	84	10	03	44	86	23	82	68	05	55	46	60	31	31	39	40	81	58	04	69	32
6	55	33	40	22	24	82	5595	04	47	87	24	76	73	06	50	5080	60	26	33	50	41	83	41	4578	67	19
7	55	29	37	16	22	74	83	06	50	88	24	66	71	05	47	29	52	23	33	52	42	80	29	48	64	02
8	54	25	35	12	19	64	71	04	52	92	23	58	67	01	44	4975	50	21	34	50	45	72	07	23	63	4187
9	54	22	27	07	10	50	56	04	53	94	22	56	66	5597	36	k 21	44	17	35	50	49	68	4881	k 13	63	76
10	54	15	25	05	5995	39	41	03	54	94	22	54	66	95	32	21	42	14	35	50	50	60	64	08	63	62
11	54	14	17	03	89	31	27	02	53	94	22	50	66	91	26	16	37	13	35	50	52	50	52	06	62	51
12	53	09	14	6096	82	20	22	5496	53	94	21	47	66	87	23	11	33	11	35	51	54	45	26	03	59	41
13	53	05	06	94	76	12	13	95	53	94	20	45	66	86	16	06	32	06	36	53	56	40	06	01	55	21
14	53	03	6197	93	68	02	07	94	53	94	17	39	66	84	11	01	30	04	40	58	59	30	4795	4497	51	08
15	52	6297	88	89	60	5796	03	94	53	94	15	36	66	79	05	4899	26	03	41	59	60	27	86	95	50	4086
16	52	94	83	85	52	92	5498	93	53	94	14	34	65	77	5496	91	23	03	42	60	62	20	79	89	46	65
17	51	89	73	79	41	89	94	91	53	94	13	28	64	74	87	89	21	01	42	62	66	19	68	83	42	49
18	50	85	65	75	32	85	93	91	54	94	12	28	64	67	78	83	15	01	43	65	70	13	66	84	41	31
19	48	85	64	73	23	83	91	87	56	95	12	29	68	66	70	89	13	02	47	74	73	19	66	82	40	21
20	52	83	61	66	21	79	93	92	62	98	12	33	70	66	66	91	13	03	54	86	79	20	64	84	38	13
21	54	80	57	60	16	73	94	95	65	5602	13	36	75	66	56	87	13	04	61	90	88	19	56	89	18	13
22	54	76	56	55	12	62	94	99	66	05	14	39	76	66	36	80	13	09	70	96	90	13	46	89	4370	12
23	54	72	55	53	06	39	93	5504	73	11	14	44	79	66	07	75	13	13	73	5000	89	08	28	90	27	12
C	8	8	7	6	6	5	4	4	3	2	1	0	0	23	22	21	20	19	18	18	17	16	15	14	13	12

1895

Juli																								Aug.		
h	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1
0	4012	3901	3494	3513	3562	3604	3559	3388	3319	3295	3337	3588	3875	3952	4023	4040	3927	3808	3725	3842	4055	4549	4659	4675	4640	4628
1	12	3869	96	18	66	3599	62	70	22	96	48	3611	82	55	31	33	22	00	31	52	71	90	59	73	39	26
2	11	04	3503	24	74	93	64	57	25	97	68	34	82	61	40	22	20	00	37	69	88	97	62	73	39	28
3	10	3725	07	32	84	90	64	49	27	3303	87	63	84	64	49	18	20	00	45	86	4102	4609	67	77	41	29
4	09	3677	14	36	94	88	63	46	30	07	3403	3701	87	73	55	08	21	00	56	95	25	21	68	77	42	34
5	02	39	24	44	96	84	56	45	37	12	32	33	94	75	59	01	26	05	69	3902	46	28	69	76	40	38
6	3983	02	26	44	99	83	53	31	38	17	40	61	3900	74	70	3999	25	04	75	09	72	37	70	76	37	37
7	63	3561	25	42	3602	83	46	25	37	16	43	86	03	74	69	99	20	00	74	12	88	39	71	75	33	36
8	51	k11	24	41	04	83	33	17	32	10	50	3805	05	74	64	98	05	3785	73	16	4204	41	70	75	30	34
9	42	3471	23	39	05	83	22	09	27	09	53	k17	08	74	63	90	3896	76	72	23	16	43	69	73	30	31
10	36	68	21	36	06	83	14	07	26	08	61	18	12	74	63	83	90	70	73	32	26	45	69	70	29	30
11	33	68	17	34	07	83	06	07	22	07	63	19	13	74	66	80	80	60	73	38	38	46	69	69	29	30
12	32	70	15	34	08	82	01	07	17	06	67	19	13	74	68	78	72	54	74	42	50	47	68	68	28	29
13	27	73	14	34	09	82	34	07	12	04	68	19	13	74	67	73	66	49	75	49	57	48	68	63	25	29
14	24	76	14	33	10	82	87	07	07	3299	71	19	13	74	65	70	58	39	77	53	66	49	67	59	22	27
15	22	75	13	32	11	81	80	07	03	98	72	20	13	74	61	69	50	30	80	61	75	50	67	58	20	23
16	17	75	11	27	12	77	69	07	3297	98	73	22	14	74	60	62	40	21	81	66	83	50	66	56	20	20
17	12	74	05	27	13	72	55	07	92	97	74	25	14	74	59	59	31	11	82	73	91	51	66	52	19	18
18	06	74	04	33	14	69	46	07	87	97	81	28	14	75	58	51	29	08	84	80	4309	51	68	50	19	15
19	07	74	03	34	14	69	37	12	89	98	88	39	21	82	60	46	24	02	92	89	37	51	70	53	19	17
20	09	80	04	40	16	61	28	15	91	99	92	48	24	85	60	(41	20	05	3802	99	73	55	72	54	19	14
21	10	85	04	45	19	61	18	16	92	3304	3517	55	33	92	58	39	19	11	12	4013	4414	56	76	49	20	14
22	12	87	04	50	15	60	07	16	94	06	48	65	42	4002	51	35	15	15	22	25	64	57	77	48	25	12
23	12	93	06	54	13	T57	3398	17	96	09	T70	73	48	12	42	30	10	21	31	41	4510	58	77	46	29	11
T 13,70 ± 0,09																										
R 0",0509 ± 0",0006																										
C	12	11	10	9	8	8	7	6	6	5	4	3	2	1	0	0	23	22	21	20	20	19	18	17	16	15

1895

August

h	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	4610	4579	4513	4386	4048	3793	3790	3719	3744	3853	3982	4031	4022	3982	3970	3969	3934	3986	3989	4025	4138	4370	4397	4407	4294	3895
1	08	80	09	70	32	98	87	12	53	63	90	32	21	83	70	62	36	88	94	34	53	83	99	08	79	81
2	08	81	09	49	11	98	86	11	63	74	94	32	22	84	69	50	44	89	97	41	75	98	4403	09	60	92
3	08	82	07	40	3984	99	86	05	74	83	4001	38	23	85	69	47	49	94	4004	50	94	4407	05	10	39	96
4	08	81	09	24	53	3800	82	03	92	87	02	41	24	88	70	45	61	95	13	60	4226	23	03	11	20	3901
5	08	79	01	12	29	06	82	02	3805	93	04	43	24	89	74	43	68	4002	20	68	57	43	4399	12	11	02
6	07	78	4495	02	3897	01	78	3698	15	95	08	46	28	89	72	41	72	01	22	74	79	60	98	15	02	02
7	06	77	92	4293	55	00	76	92	14	99	10	44	26	85	70	30	72	3996	19	73	83	60	99	13	4195	3894
8	05	73	96	81	k 23	3799	68	88	14	3904	11	44	22	86	68	32	72	94	16	73	89	59	4401	07	83	92
9	00	71	89	72	3787	99	67	88	14	05	12	42	21	87	66	39	70	94	15	73	93	59	05	05	68	90
10	4598	70	83	64	87	98	64	89	14	08	12	42	20	85	62	32	69	93	15	74	95	52	07	01	63	84
11	96	65	81	59	87	98	60	92	14	14	12	42	17	84	62	32	67	92	15	76	4301	45	07	4395	49	82
12	92	61	79	50	87	98	59	92	15	16	12	42	12	82	59	32	63	88	14	77	03	41	08	89	33	82
13	89	55	73	39	87	98	59	93	19	21	12	42	08	80	59	35	62	86	14	78	08	36	10	87	18	81
14	88	51	71	23	87	98	60	94	22	23	13	42	03	79	59	29	61	82	13	79	10	30	10	80	4092	79
15	87	44	63	10	87	98	57	95	23	30	13	42	00	77	59	22	60	75	09	78	11	25	10	75	70	75
16	84	42	59	4191	87	97	55	95	25	33	13	40	3998	71	58	10	62	71	06	77	12	17	10	68	49	73
17	81	36	51	73	87	97	56	95	31	39	13	37	96	70	59	3893	64	65	03	76	11	07	09	57	27	72
18	80	32	44	55	87	97	53	95	34	42	14	31	92	69	61	94	64	63	01	74	11	4396	08	52	06	72
19	79	33	41	43	87	96	50	3700	35	45	16	32	89	71	61	94	64	68	3998	87	13	89	08	44	3978	73
20	78	T 32	31	30	87	98	42	09	39	52	18	32	87	70	62	97	66	73	4003	91	22	91	08	34	58	74
21	78	26	19	12	88	97	32	20	42	62	21	30	84	70	64	3911	74	75	07	98	32	95	08	27	30	76
22	79	22	10	4099	89	96	24	27	44	67	22	28	83	70	69	19	76	83	14	4107	43	97	08	21	10	81
23	79	16	4398	62	90	92	21	36	47	76	25	25	84	70	70	25	84	85	21	24	55	97	08	09	03	82
T 12 ^s ,55 ± 0 ^s ,08																										
R 0 ^u ,0608 ± 0 ^u ,0009																										
C	14	13	13	12	11	10	10	9	8	8	7	6	5	4	3	2	1	1	0	23	22	22	21	20	19	18

1895

August												September														
h	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	3883	3791	3803	3813	3700	3679	3762	3905	4130	4385	4465	4572	4671	4484	4423	4254	3763	3704	3683	3657	3485	3514	3495	3540	3480	3149
1	84	93	04	15	07	87	69	17	45	89	73	81	72	83	23	46	29	3690	81	52	92	22	3502	43	81	60
2	85	95	08	17	09	91	80	37	64	98	82	85	72	83	24	39	26	79	82	44	94	25	03	46	86	70
3	88	3800	13	19	17	3700	90	54	88	4407	93	4609	74	84	21	27	24	88	84	16	95	32	06	47	88	80
4	89	07	21	22	27	11	3806	78	4221	18	4509	27	82	86	17	17	21	92	89	03	98	36	16	52	88	90
5	93	13	29	21	38	22	24	4006	56	25	21	52	84	94	11	08	19	3700	97	3591	3500	44	25	53	89	99
6	92	13	31	12	39	28	28	18	91	34	25	64	82	93	10	4199	18	01	94	69	04	43	25	47	71	99
7	81	12	26	02	34	27	28	26	4316	31	28	70	72	86	03	89	14	3699	90	67	04	41	24	45	44	99
8	71	10	24	3795	31	27	31	33	35	34	27	72	63	85	01	77	18	91	87	73	04	39	24	45	12	99
9	65	06	24	92	30	28	34	53	57	35	30	73	55	84	4391	64	17	69	81	72	05	39	25	45	01	91
10	56	05	23	82	29	29	36	43	57	35	31	78	51	83	79	58	08	73	80	69	06	37	25	42	00	72
11	47	04	23	74	24	29	40	46	57	36	32	82	42	78	69	30	04	69	77	64	07	34	26	36	3374	58
12	35	02	21	64	19	29	46	53	57	37	34	83	34	74	60	09	00	68	71	62	07	34	27	34	30	36
13	26	01	19	55	09	29	46	61	57	39	36	84	22	68	50	4089	3699	62	69	52	06	25	28	26	04	3094
14	20	3799	15	43	3699	29	47	63	57	39	38	84	11	64	41	63	99	62	66	42	05	22	28	18	3289	38
15	13	94	12	34	90	29	49	63	57	39	40	83	4594	62	31	35	3701	66	61	33	04	13	27	14	53	2969
16	11	92	08	25	79	29	50	65	57	38	38	82	82	55	24	08	12	69	57	18	03	04	26	05	18	2893
17	05	90	05	16	70	28	51	68	57	38	38	76	64	47	15	3981	21	69	54	09	3495	3499	25	3495	04	29
18	02	85	04	06	69	29	52	69	57	37	35	71	50	39	05	56	30	72	49	02	96	93	25	88	13	2739
19	3792	84	02	00	62	29	56	71	56	39	38	72	32	34	4295	30	28	79	46	3486	97	84	22	83	38	2649
20	92	80	02	3696	62	31	57	81	58	39	40	67	14	27	84	03	24	80	46	83	(98	83	22	83	57	48
21	92	92	05	91	67	39	66	83	64	41	43	65	05	26	75	3876	24	84	52	81	3500)	83	24	84	15	40
22	92	94	09	88	70	48	76	4100	68	46	52	67	00	26	66	(58)	19	85	54	82	03	86	29	82	3188	52
23	91	98	12	96	76	57	88	14	76	58	62	70	4492	25	63	08	08	86	56	84	06	90	34	81	49	69
C	17	16	15	15	14	13	13	12	11	11	10	9	8	7	6	5	4	4	3	2	1	0	23	22	22	21

1895

September												Oktober															
h	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0	2710	3758	3880	4009	4111	4134	4149	4156	(4165	4257	4340	4541	4456	4428	4373	4319	4253	4150	4182	4211	4192	4258	4175	4220	4217	4285	
1	30	68	93	19	19	37	53	58	73	66	53	54	60	26	76	20	51	51	86	10	90	51	78	22	23	79	
2	52	80	3909	37	29	39	58	60	85	79	62	51	62	25	79	21	51	53	84	07	90	50	80	26	29	75	
3	87	91	28	50	(35	41	61	65	94	89	70	46	67	22	79	21	50	52	82	03	90	44	83	28	29	68	
4	2840	3805	43	69	46)	46	66	68	4201	97	74	40	60	22	76	21	49	50	81	00	90	40	88	29	35	59	
5	2940	18	59	84	58	48	68	70	03	4300	85	30	51	21	71	21	43	49	81	4198	89	34	89	29	30	48	
6	3050	19	60	88	58	48	68	69	4199	4298	94	23	48	19	70	20	40	44	81	97	88	30	89	29	18	59	
7	3180	20	63	89	59	49	67	68	98	97	4405	14	49	14	68	19	35	40	80	97	90	22	90	30	10	60	
8	3420	20	68	91	60	50	67	68	98	98	18	08	49	11	63	18	30	37	80	98	99	20	91	30	25	66	
9	3710	21	69	92	61	50	67	67	99	99	27	08	49	10	60	15	28	36	79	95	4203	19	91	29	38	71	
10	k10	24	69	92	60	49	66	63	4200	4300	39	02	45	06	59	14	21	32	78	91	12	13	91	28	45	79	
11	10	28	70	91	57	48	61	60	01	01	47	4499	41	01	55	12	18	28	79	92	22	09	91	26	53	83	
12	10	30	71	91	50	48	58	59	01	01	62	90	39	00	53	10	11	26	79	91	30	00	91	22	58	88	
13	10	31	72	90	48	48	56	57	01	01	71	84	36	4399	51	08	06	20	80	90	33	4192	91	20	60	89	
14	11	32	73	89	46	47	51	55	02	02	76	78	31	97	50	03	00	28	86	90	40	90	91	18	71	91	
15	12	(34	74	89	40	45	48	52	01	01	80	67	30	92	47	00	4195	30	88	90	42	88	91	11	82	92	
16	12	36	77	89	38	41	47	51	00	00	84	59	25	90	42	4297	90	35	90	92	51	80	92	11	99	92	
17	13	40)	77	88	37	39	46	51	00	00	88	57	20	88	38	89	81	41	92	94	66	79	96	10	4308	91	
18	13	42	78	87	36	38	48	50	00)	00	91	52	17	83	31	81	74	49	99	4200	70	78	99	14	16	90	
19	14	55	78	89	33	38	53	47	01	02	98	52	13	84	28	76	68	52	4201	03	71	76	4200	11	19	81	
20	19	46	79	89	31	41	52	43	08	08	4502	52	12	80	21	70	61	59	08	4199	61	72	02	01	01	4322	
21	26	51	81	91	30	43	51	44	18	10	10	50	18	79	19	63	54	65	08	95	67	70	08	01	02	22	
22	33	59	89	98	30	46	51	48	31	15	21	50	22	75	18	60	51	72	10	4201	67	72	12	02	4299	18	
23	43	69	98	4102	31	47	53	53	43	25	30	48	28	73	18	57	50	79	12	4198	62	74	18	12	90	20	
T = 14 ^s .29 ± 0 ^s .07																											
R = 0 ^{''} .0468 ± 0 ^{''} .0005																											
C	20	19	18	18	17	16	15	15	14	13	12	12	11	10	9	8	7	6	6	5	4	3	2	1	1	0	

1895

November														Oktober													
h	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0	4320	4030	3805	3684	3667	3708	3760	3813	3937	3922	3980	4173	4400	4531	4340	4606	4795	5057	5605	5744	5935	6213	6329	6413	6580	6742	
1	21	30	3797	81	68	10	59	24	45	25	80	88	02	39	30	35	4805	84	07	53	46	28	30	21	88	45	
2	18	10	92	81	71	14	58	33	53	20	82	90	13	41	23	45	16	97	08	65	62	45	32	31	93	53	
3	14	10	94	81	77	17	58	39	61	11	88	4205	24	41	39	65	26	4114	13	74	73	63	35	39	6600	59	
4	18	00	90	82	77	18	58	44	64	02	90	23	30	38	55	87	37	34	17	76	83	73	38	43	09	63	
5	20	3993	87	84	78	19	59	49	69	01	92	50	36	20	71	4728	47	54	24	84	94	81	40	50	17	65	
6	30	90	86	83	79	20	63	55	74	02	4002	86	48	02	89	65	56	77	28	91	6004	88	41	56	26	72	
7	38	80	78	81	81	23	66	62	79	08	10	4300	58	4491	4414	30	65	96	36	97	14	97	43	61	38	75	
8	41	72	75	80	85	27	67	66	86	15	21	4440	63	76	26	4690	75	5218	42	5806	24	6300	48	69	49	82	
9	42	63	67	79	87	28	67	73	91	27	38	70	71	65	46	73	86	44	45	13	34	00	49	75	57	84	
10	50	54	63	78	88	29	67	75	92	32	50	etc.	78	73	63	80	95	66	49	17	44	01	51	81	62	89	
11	40	45	55	78	89	30	67	80	92	36	62	—	70	65	75	95	4905	90	57	25	54	01	52	90	70	88	
12	19	34	47	78	90	30	67	84	92	43	72	—	51	51	87	4705	13	5315	66	30	64	00	56	98	77	87	
13	4298	16	37	77	93	33	67	87	83	41	82	?	35	39	98	12	25	40	75	36	72	01	59	6503	81	86	
14	81	03	29	76	96	36	68	92	81	40	4110	—	31	21	4507	24	35	65	77	45	83	04	61	10	88	85	
15	57	3895	26	74	98	38	68	95	76	45	22	—	42	11	16	35	45	89	83	51	94	09	65	17	91	84	
16	39	85	17	73	98	38	68	3901	72	49	22	—	52	02	25	42	54	5416	86	60	6104	11	68	22	99	83	
17	11	68	07	69	98	38	70	04	64	51	32	?	61	4389	36	47	65	41	93	67	14	11	70	31	6702	81	
18	4188	60	01	68	99	39	74	06	55	58	40	—	76	77	45	55	74	75	96	75	23	12	72	40	10	80	
19	62	46	01	67	99	39	78	18	51	65	50	—	90	70	55	63	84	5510	5704	86	32	18	78	49	20	86	
20	48	37	01	65	3700	40	80	19	44	67	50	—	4500	71	67	72	94	34	07	94	45	22	81	51	23	86	
21	28	25	3697	64	02	47	86	22	40	73	66	k	10	61	76	75	5006	57	15	5904	55	22	88	58	31	87	
22	06	18	91	63	05	51	91	24	33	80	70	—	28	52	86	78	24	85	23	09	73	23	96	65	37	87	
23	4085	14	89	64	07	59	3803	32	26	80	70	—	29	48	4603	85	34	5615	32	23	94	26	6405	72	40	92	
T = 13° 22' ± 0° 05'														R = 0° 05' 47" ± 0° 00' 05"													
C	23	22	22	21	20	19	18	17	16	16	15	15	14	13	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	3	

1895

November

h	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	6796	6803	6728	6684	6642	6488	6303	6155	6044	5995	5710	5463	5514	5596	5667	5754	5859
1	98	04	28	85	38	84	6296	43	45	95	05	39	23	5602	73	60	55
2	6801	00	29	87	35	79	87	23	55	88	5696	33	28	04	76	61	55
3	03	6797	29	74	31	74	79	6096	58	65	77	27	36	05	80	63	47
4	05	95	27	65	27	65	74	66	57	62	56	26	35	08	76	70	44
5	04	88	24	53	22	53	65	44	55	54	36	25	44	13	78	72	43
6	05	86	19	44	17	44	58	26	55	53	15	26	46	15	83	80	43
7	06	84	17	32	12	32	55	02	55	50	5595	33	51	16	86	82	44
8	07	80	15	25	06	25	47	5997	45	38	85	35	53	18	93	91	44
9	07	78	14	16	00	16	38	97	43	26	65	40	54	23	5700	5800	42
10	08	76	13	08	6596	08	29	97	44	26	55	44	56	25	04	04	42
11	08	72	11	04	94	04	25	6004	44	17	44	47	60	27	12	10	40
12	07	67	08	79	87	6396	16	15	45	05	37	54	63	28	14	13	33
13	06	64	06	77	80	88	07	15	43	5895	45	57	65	32	18	20	33
14	06	56	00	74	74	84	6196	16	46	86	47	65	66	34	23	22	32
15	06	50	6696	68	66	77	88	22	36	68	54	67	66	35	23	28	33
16	05	46	95	66	57	68	81	26	35	52	54	75	68	37	25	31	34
17	01	43	89	61	46	62	76	28	34	35	59	81	73	40	32	35	36
18	6798	37	86	56	35	53	69	31	24	15	57	84	75	45	34	40	42
19	97	33	84	54	27	45	67	35	14	5793	54	84	75	48	36	42	44
20	97	26	77	49	16	34	65	32	10	74	38	85	78	51	39	48	52
21	98	25	76	47	07	24	66	35	5996	50	17	93	84	55	44	50	62
22	99	26	77	45	03	16	64	34	97	36	5496	99	88	57	47	50	63
23	6802	27	79	44	6496	08	58	38	93	16	80	5507	94	64	52	50	64
C	2	1	0	0	23	22	21	20	20	19	18	17	17	16	15	15	14

I. Theil.

Periodische Schwankungen der Lothlinie und Bewegungen des Nullpunktes.

1. Die tägliche Periode.

Die auffälligste Erscheinung in der normalen Pendelkurve der Photogramme ist die fast stets vorhandene, flache Sinusform, deren Amplitude bis zu 5 mm anwachsen kann. Die bezüglich der Ortszeit konstante Phase liess sofort die Periode als eine solche innerhalb des Sonnentages erkennen, was sich sowohl durch Rechnung, als auch durch Uebereinstimmung mit der wechselnden Sonnenwirkung unzweideutig als wahr erwiesen hat.

Die mathematische Form der Kurve, deren Ordinaten eine periodische Funktion der Zeit sind, ist bekanntlich

$$\sum_{r=1}^n (a_r \cos r t + b_r \sin r t) = \sum_{r=1}^n m_r \cos (rt - M_r)$$

wobei $a_r = m_r \cos M_r$,

$b_r = m_r \sin M_r$ gesetzt ist. m_r stellt den Maximalwerth des periodischen Gliedes dar, und $\frac{M_r}{r}$ bestimmt, vom Mittage ab gerechnet und in Zeit ausgedrückt, die Epoche, zu welcher das r te Glied eben dieses Maximum erreicht.

Um die monatlichen Veränderungen der täglichen Periode zur Erscheinung zu bringen, wurden für jeden Monat die 24 täglichen Ablesungen addirt und die Summe in obige Form gebracht. Die Eliminirung des unperiodischen Ganges der Gleichgewichtslage geschah in der Weise, dass dieser Gang als eine Kurve von der Form

$$\alpha + \beta x + \gamma x^2 + \delta x^3 + \dots$$

angesehen, und dann nach Bestimmung der Koeffizienten $\alpha \beta \gamma \delta \dots$ von den Ablesungen stundenweise in Abzug gebracht wurde. Dabei genügte es, bis zu den Gliedern zweiter Ordnung zu gehen, da δ meist sehr klein wurde, worüber übrigens v. Rebeur¹⁾ des Näheren gehandelt hat.

¹⁾ Beiträge 2. Band. S. 268 ff.

Die Beobachtungen sind hiernach von 1895 April 16. 0^h bis Oktober 31. 23^h bearbeitet und sie zerfallen in 7 Gruppen, indem die zweite Gruppe die Tage vom 15. bis 31. Mai umfasst. In Tabelle II sind die vom Nullpunkt befreiten stündlichen Abweichungen von α sogleich in Bogensekunden angegeben, was wegen der veränderlichen Reduktionskonstanten und wegen der besseren Vergleichbarkeit der Angabe in mm vorzuziehen ist.

Berechnet man für jede der sieben Summen die harmonischen Koeffizienten a_r und b_r , indem die Glieder für $r > 4$ vernachlässigt werden, so ergibt sich Tabelle III.

Der Zusammenhang der Grössen m oder der mittleren Totalamplituden A für jede Gruppe mit der mittleren Grösse der maximalen

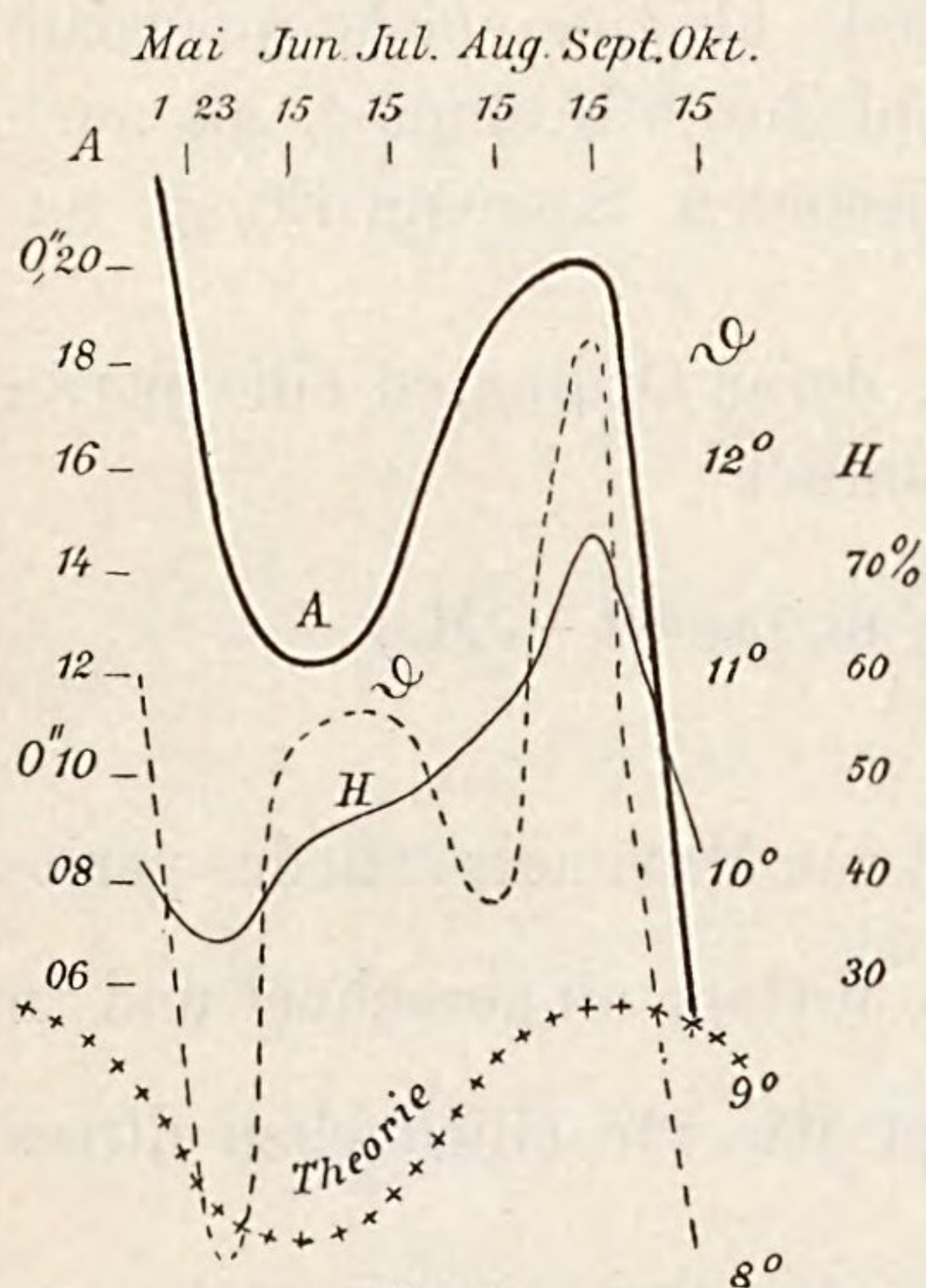


Fig. 1.

Temperaturschwankung Q brauchte hier nicht von neuem als Problem aufgestellt zu werden, da derselbe durch v. Rebeur mit Evidenz aufgezeigt worden ist. Doch wurden zur Erhärtung für die Tage vom 29. März bis 7. Juni die einzelnen Amplituden A berechnet und mit der Temperaturoscillation Q verglichen. Es zeigte sich dabei, dass, von einer geringen Verspätung abgesehen, jedem Anwachsen von Q ein solches von A folgte. Es genügt also, wiederum den parallelen Gang der Elemente zu bemerken, zu welchem Zwecke in der Tabelle III die Mittelwerthe der täglichen Dauer des Sonnenscheins H , ferner

die von ihr abhängige grösste Temperaturschwankung Q , und endlich die Mittelwerthe der Gesamtamplitude des Lothes A , für jede Gruppe angeführt sind. In Fig. 1 sind diese Verhältnisse graphisch dargestellt, doch sei bezüglich der Bedeutung der theoretischen Kurve auf das Folgende verwiesen.

Wie bei den früheren Untersuchungen v. R's. tritt das Maximum der nördlichen Elongation vor 7^h Morgens, das der südlichen um 6^h Abends (Ortszeit) ein. Im Einzelnen liegen die extremen Punkte folgendermassen:

Epoche	Elongation	
	Nord	Süd
Mai 1	18 ^h ,0	6 ^h ,0
Mai 23	18,0	5,9

Tabelle II.

(+ südlich, — nördlich.)

1895	Apr. 16. — Mai 14.	Mai 15. — Mai 31.	Juni 1. — Juni 30.	Juli 1. — Juli 31.	Aug. 1. — Aug. 31.	Sept. 1. — Sept. 30.	Okt. 1. — Okt. 31.
0	—0",0225	—0",0042	—0",0182	—0",0121	—0",0309	—0",0344	+0",0005
1	+	0049	+	0066	0158	0288	0059
2	0191	0139	0119	0110	0061	0034	0155
3	0432	0285	0273	0370	0274	0244	0227
4	0736	0424	0412	0546	0565	0631	0240
5	0983	0674	0615	0723	0857	1001	0233
6	1028	0751	0643	0718	1148	1031	0231
7	0922	0619	0573	0607	0774	0921	0202
8	0781	0445	0475	0403	0633	0868	0201
9	0646	0292	0349	0293	0538	0789	0184
10	0472	0222	0252	0276	0401	0685	0131
11	0320	0076	0161	0115	0130	0545	0067
12	0169	0063	0028	0044	0075	0420	0027
13	0000	0181	0070	0061	0095	0239	—
14	0202	0250	0177	0188	0172	0044	0050
15	0405	0361	0301	0276	0315	0145	0072
16	0652	0466	0377	0425	0450	0358	0145
17	0837	0584	0531	0568	0566	0604	0174
18	0978	0632	0601	0629	0631	0817	0220
19	0939	0605	0496	0563	0722	0939	0246
20	0815	0417	0355	0502	0693	1047	0207
21	0708	0285	0301	0370	0579	1013	0288
22	0556	0111	0224	0265	0463	0911	0255
23	0405	0111	0196	0237	0313	0742	0219
Amplitude	0",2006	0",1383	0",1244	0",1352	0",1870	0",2078	0",0528

Tabelle III.

Epoche:	Mai 1.	Mai 23.	Juni 15.	Juli 15.	Aug. 15.	Sep. 15.	Okt. 15.
	a ₁ — 0'',0177 b ₁ + 0910 m ₁ 0917 M ₁ 101° 1'	+ 0'',0023 + 0511 0511 87° 25'	— 0'',0061 + 0494 0498 97° 1'	— 0'',0045 + 0569 0569 95° 27'	— 0'',0171 + 0683 0705 103° 4'	— 0'',0446 + 0849 0959 117° 43'	— 0'',0020 + 0150 0151 97° 40'
	a ₂ — 0'',0029 b ₂ + 0034 m ₂ 0044 M ₂ 139° 5'	— 0'',0028 — 0042 0053 236° 6'	— 0'',0041 — 0017 0044 202° 29'	— 0'',0040 + 0034 0053 139° 28'	— 0'',0128 + 0083 0153 147° 0'	— 0'',0068 + 0130 0147 117° 37'	+ 0'',0003 + 0038 0038 84° 54'
	a ₃ — 0'',0025 b ₃ — 0093 m ₃ 0096 M ₃ 254° 45'	+ 0'',0003 — 0125 0125 271° 17'	— 0'',0027 — 0071 0076 249° 5'	— 0'',0039 — 0082 0091 244° 42'	+ 0'',0017 — 0106 0107 269° 7'	+ 0'',0005 — 0056 0056 275° 6'	+ 0'',0003 + 0011 0011 72° 42'
	a ₄ + 0'',0007 b ₄ — 0008 m ₄ 0011 M ₄ 308° 40'	+ 0'',0010 — 0047 0058 282° 26'	— 0'',0013 — 0002 0013 189° 27'	+ 0'',0004 — 0021 0022 281° 54'	+ 0'',0032 — 0039 0050 309° 22'	+ 0'',0044 — 0035 0056 321° 30'	+ 0'',0002 + 0002 0003 49° 54'
g	11°,0	8°,1	10°,1	10°,3	9°,9	12°,6	8°,2
H	43‰	34‰	42‰	47‰	55‰	74‰	43‰
A	0'',201	0'',138	0'',124	0'',135	0'',187	0'',208	0'',053

g mittlere Temperaturamplitude.
H Dauer des tägl. Sonnenscheins (100‰ wolkenlos)
A mittlere Amplitude der Lothschwankung.

Epoche	Elongation	
	Nord	Süd
Juni 15	17 ^h ,9	5 ^h ,7
Juli 15	17,9	5,3
August 15	19,2	6,0
September 15	20,2	5,5
Oktober 15	zwischen 19 u. 22 4 u. 8	

Die Verspätung der nördlichsten Lage nach dem Winter hin tritt deutlich hervor, während die Südlage eine im Allgemeinen konstante

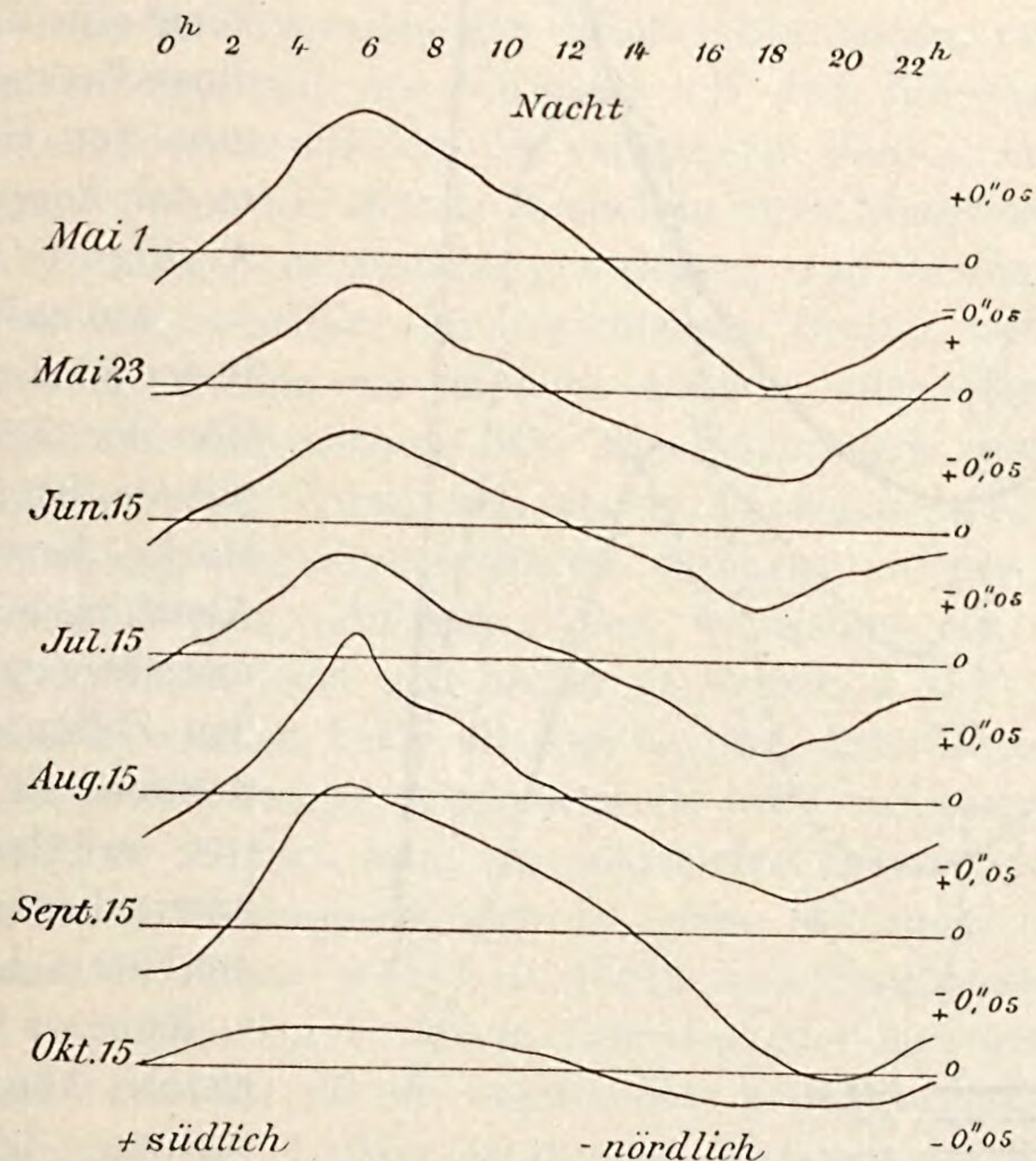


Fig. 2.

Phase besitzt. Es wird sich zeigen, dass dies von der Höhe der mittleren Monatstemperatur abhängt.

Um den Charakter der Bewegung und ihre jährliche Variation anschaulicher zu machen, giebt Fig. 2 eine graphische Uebersicht über die mittleren täglichen Perioden zu jenen Epochen. Hervorzuheben ist, dass das von v. Rebeur bemerkte sekundäre Nordmaximum gegen 9^h in diesen Beobachtungen höchstens 15. Juli und 23. Mai, sonst aber gar nicht auftritt, obgleich nicht ausgeschlossen ist, dass dasselbe noch in den späteren Monaten zu Tage kommt. Immerhin erschien es nützlich, die Bewegung gruppenweise in die periodi-

schen Glieder zu zerlegen, welche in Fig. 3 in angemessenen Vergrößerungen (m_2 und m_3 fünf-, m_4 zehnmals) nochmals aufgeführt sind. Das Glied m_2 , welches bei v. Rebeur so sehr von dem allgemeinen Gange abwich, schliesst sich jetzt besser an. Im Allgemeinen ist hervorzuheben, dass die kleinen Glieder von Ende April bis Anfang Juni einen entgegengesetzten Gang als m_1 zeigen, wofür eine direkte

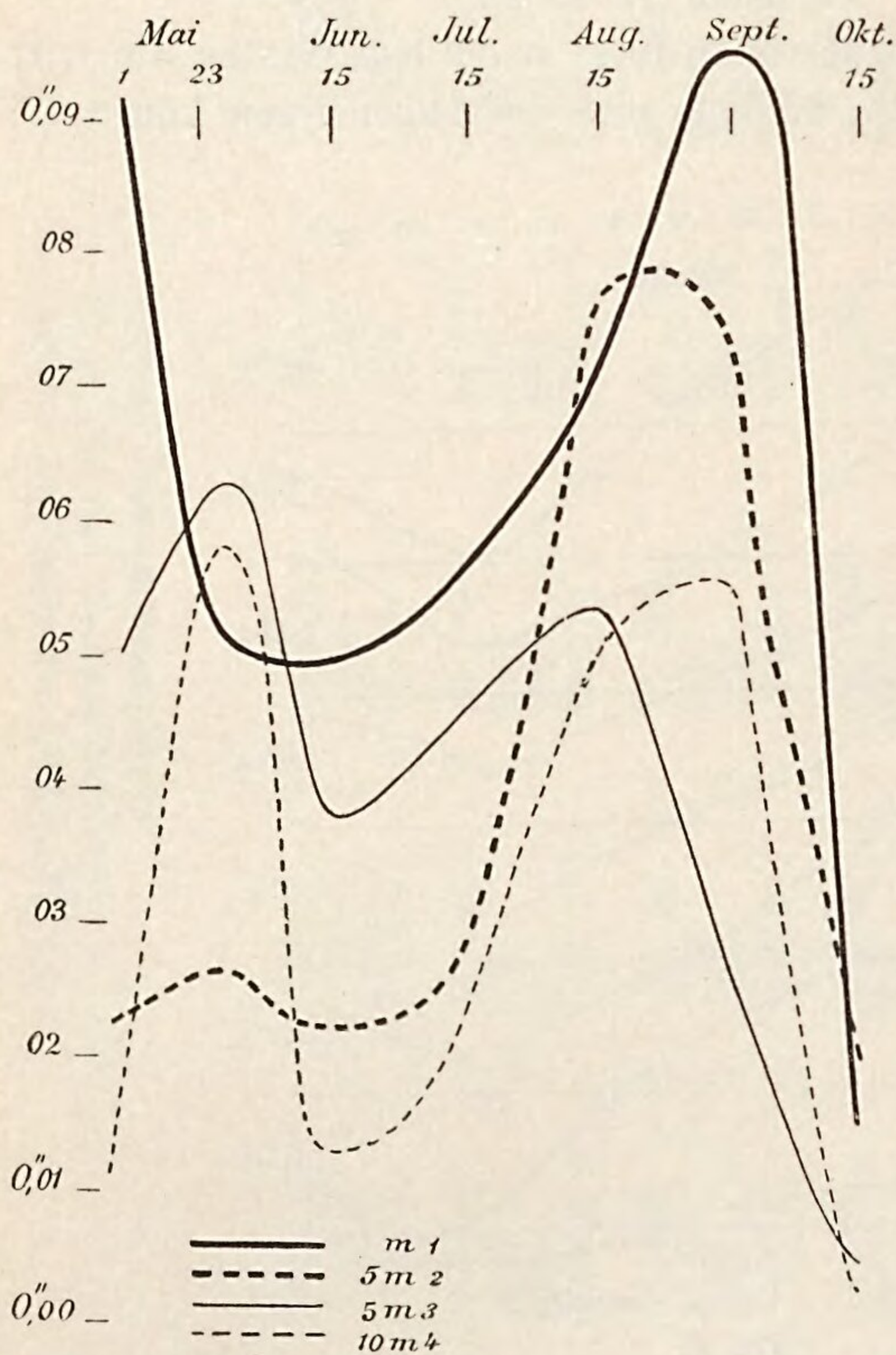


Fig. 3.

physikalische Ursache nicht angegeben werden kann. Man erkennt aber die Wirkung dieses Umstandes, wenn man den Verlauf von m_1 mit demjenigen von A (Fig. 1) vergleicht.

Am auffallendsten in der jährlichen Variation der täglichen Amplitude ist die wieder stark hervortretende Abnahme in den Sommermonaten gegenüber den Zeiten der Aequinoktion. Es ist hier der Ort, auf Grund dieser unzweideutig vorliegenden Thatsache, zumal da v. Rebeur bereits die gleiche Abnahme konstatierte, den Versuch einer Erklärung der Sonnenwelle zu geben.

Dass dieselbe keine lokal durch Verzerrungen des Gebäudes erzeugte Erscheinung ist, glaubte v. Rebeur schon annehmen zu müssen; und im Hinblick auf die Fundirung des Pfeilers, welche tiefer ist, als die des Gebäudes, muss dies sofort zugestanden werden, denn auch in Potsdam, Wilhelmshafen und Puerto Orotava, unter jedesmal anderen Bedingungen, zeigten sich im grossen die gleichen Züge. Er erkannte bereits, dass der Anschluss der täglichen Amplitude an die Sonnenstrahlung kein vollkommener sei (l. c. pag. 313—315), und es wird sich zeigen, dass die Dauer des Sonnenscheins hierbei die

Rolle eines modifizirenden Faktors spielt. Wenn v. Rebeur (pag. 300) die Ahnung ausspricht, es liege ein allgemeines, „terrestrisches Phänomen“ zu Grunde, so sei hier der Versuch gemacht, dasselbe aufzufinden.

Dabei wird nur die Annahme gemacht, dass die von der Sonne erwärmte Erdhälfte ihr Volumen unter diesem Einflusse derart vergrößere, dass eine Aufwölbung entsteht, welche in erster Annäherung als ein halbes Ellipsoid anzusehen ist, dessen grosse Achse durch den Punkt geht, welcher die Sonne im Zenith hat.

Wir werden im Folgenden den Winkel bestimmen, welchen der Radius der Erdkugel mit der Normalen auf dem Ellipsoid in demselben Punkte bildet, in welchem der verlängerte Radius das Ellipsoid trifft. Zuerst werden wir diesen Winkel in zwei Komponenten, eine nordsüdliche und eine ostwestliche, zerlegen, und dieselben für die Aequinoktien und Solstitien für verschiedene Breiten besonders bestimmen; sodann werden wir dieselbe Aufgabe auch allgemein behandeln. Es wird sich zeigen, dass die Folgerungen, welche (zum Theil in tabellarischer Form) aus obiger Annahme gezogen werden müssen, dem Gange der Erscheinungen durchaus entsprechen. Wir werden endlich daraus schliessen, dass wenigstens ein Theil der Beobachtungen durch eine allgemeine Deformation der erwärmten Erdhälfte erklärt werden kann, ohne zu leugnen, dass die unberechenbaren Installationswirkungen möglicherweise noch einflussreicher sind. Immerhin wird es nützlich sein, eine allgemeine Theorie hier zu entwickeln, da es nicht ausgeschlossen ist, dass bei einer Aufstellung des Apparates in einem weithin stets beschatteten Gelände die hier zu betrachtenden Ursachen überwiegender hervortreten.

Die Sonne erwärmt die ihr zugewendete Erdhälfte in dem Grade, dass das Maximum der Lufttemperatur im Mittel gegen 3^h eintritt; das Maximum der Bodentemperatur verschiebt sich mit wachsender Tiefe nach den vorhandenen Beobachtungen¹⁾ in sehr bedeutendem Maasse. Bei der in Betracht kommenden Aufstellung des Apparates

1) Schmidt, Theoretische Verwerthung der Königsberger Bodentemperatur-Beobachtungen. Schriften der physik.-ökonom. Ges. Königsberg. 31. 1891.

E. Leyst, Ueber die Bodentemperatur in Pawlowsk. Rep. für Meteorol. Bd. 13. Heft 7. St. Petersburg 1890.

E. Leyst, Untersuchungen über die Bodentemperatur in Königsberg i. Pr. — Schriften der physik.-ökonom. Ges. Königsberg i. Pr. 33. 1892.

W. Boller, Untersuchungen über die Bodentemperaturen an den forstlich-meteorologischen Stationen in Elsass-Lothringen. — Geographische Abhandlungen aus den Reichslanden Elsass-Lothringen. II. herausgeb. n. G. Gerland.

werden nicht eigentlich die durch Schwankungen der Bodentemperatur verursachten Niveauschwankungen, sondern die Summe der im folgenden zu besprechenden Bewegungen beobachtet. Einmal ist der in 5 m Tiefe auf dem Boden aufsitzende Pfeiler in Folge seiner Isolirung von dem umgebenden Mauerwerk von einem ca. 10 cm dicken Luftcylinder umhüllt, und die tägliche Temperaturoscillation, welche in dem abgeschlossenen Kellergewölbe allerdings minimal ist, theilt sich daher dem Pfeiler an seinen verschiedenen Theilen in verschiedenem Grade mit. Dabei ist der Wärmeausgleich zwischen Kellertemperatur und Temperatur am Pfeilerfusse ein so vollständiger, dass, wie bereits bemerkt, der Boden unter dem Pfeilerfundamente bezüglich seiner Temperatur als ein versenkter Theil der Erdoberfläche anzusehen ist. Neigungsänderungen wird der Pfeiler auch auf Grund der jährlichen Schwankungen der Kellertemperatur in keiner theoretisch zu bestimmenden Weise unterworfen sein, und dieselben werden noch dazu wegen der thermischen Ausgleichung durch das Grundwasser bedeutend verringert. Die durch Leitung von der Oberfläche bis 5 m Tiefe zurückbleibende tägliche Temperaturperiode und Niveauschwankung ist nach den bisherigen Untersuchungen über Bodentemperaturen völlig verschwindend und um Monate verspätet, und ihr können wir die beobachtete tägliche Lothschwankung daher nicht zurechnen. Dagegen pflanzt sich die durch die Sonnenwärme erzeugte elastische Aufwölbung der Erdoberfläche nach der Tiefe zu fort, wobei sie sich mit wachsender Tiefe verkleinert und verspätet; dieser Antheil an den Niveaubewegungen der Oberfläche ist es, den wir beobachten, und der mit den meteorologischen Ereignissen, der wechselnden Bewölkung vor allem, in so innigem Zusammenhange steht. Denn weder die Barometer- noch Feuchtigkeitsschwankungen, noch auch die Veränderungen des Grundwasserstandes weisen einen irgendwie bemerkbaren Zusammenhang mit der täglichen Periode der Lothrichtung auf, und die Anziehung der Sonne bewirkt nur etwa $\frac{1}{20}$ der beobachteten Ablenkung; es bleibt also die Oscillation der äusseren Temperatur als alleinige Ursache zurück. In der That stellte sich ja eine zweifellose Proportionalität zwischen beiden Amplituden heraus. Die durch Anziehung hervorgerufene Sonnenwelle hat natürlich eine der thermischen gleiche Periode, aber bei dem Mangel von absoluten Maassen ist einstweilen keine Aussicht vorhanden, erstere von dieser Verdeckung zu isoliren und in den Beobachtungen darzustellen.

Im Jahresmittel ist die beobachtete Bewegung ja eine solche, dass

die Niveaufläche gegen $7^h,5$ früh am meisten nordwärts, gegen $5^h,5$ Abends am meisten nach Süd geneigt ist; der Uebergang findet im ganzen kontinuierlich statt, und der Betrag der Oscillation ist geringer als $0'',2$. Die Aufgabe des Folgenden ist nunmehr, die Folgerung zu begründen, dass die thermogenetische Niveaubewegung gegen den Sonnenstand um $19^h,5$, also gegen das Maximum der Lufttemperatur um $16^h,5$ verspätet auftritt. In Fig. 4 stellt die gestrichelte halbe Ellipse und der Kreis einen Achsenschnitt der Erde mit ihrer Deformation (letztere in starker Vergrößerung) dar, während die Pfeile die Richtung der auffallenden Sonnenstrahlen andeuten. Die Erde dreht sich unter dieser, relativ

zur Sonne unveränderlichen, Deformation fort, und ein bei B befindliches Loth erfährt daher jedesmal in 12^h bei D das Maximum seiner Ablenkung nach Nord bezüglich des unverändert gebliebenen Stativs. Führen wir aber die Stellungen bei A und C als Normalwerthe ein, so bezeichnet B die südliche, D die nördliche

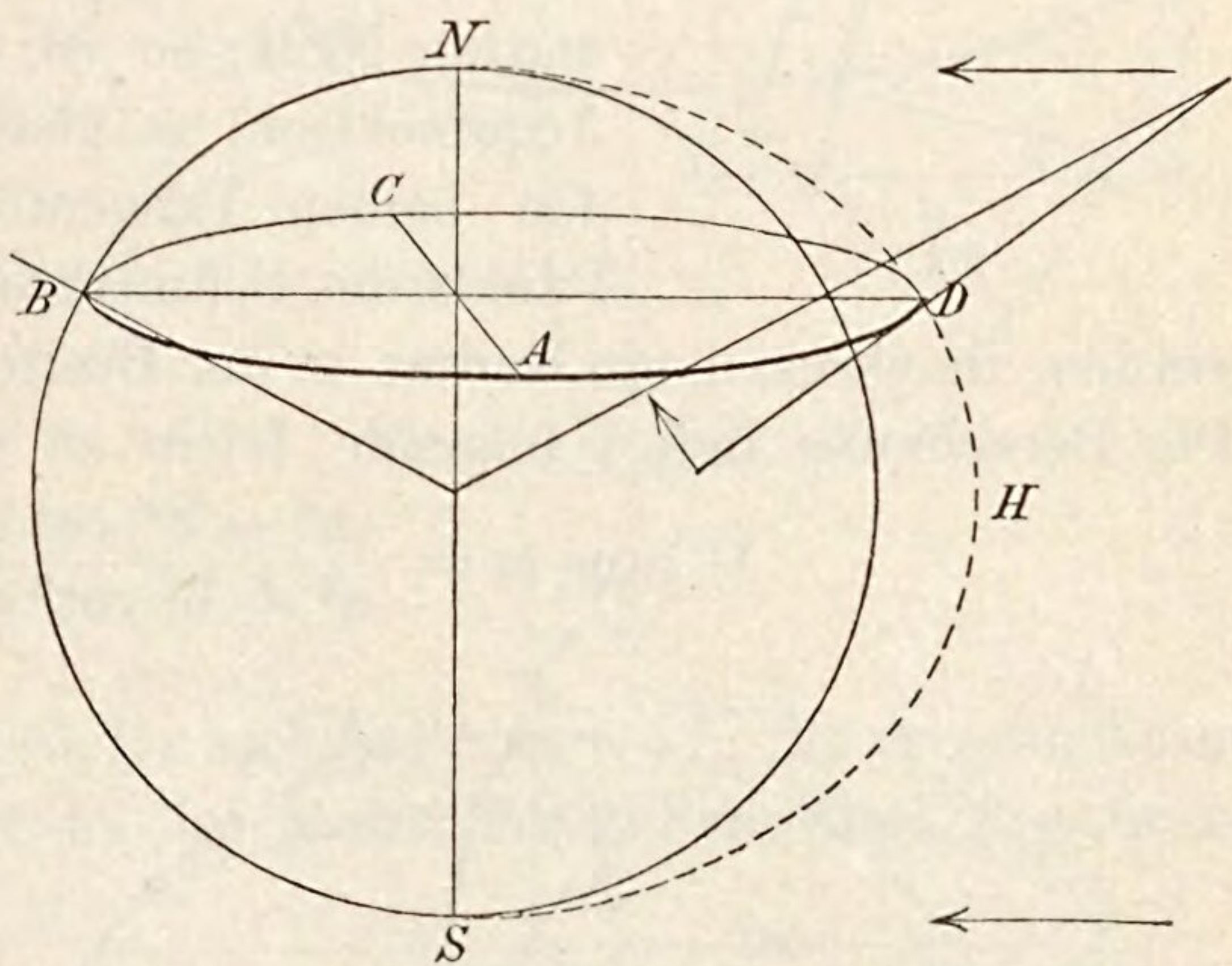


Fig. 4.

Fände keine Verspätung statt, so würde der Punkt D von jedem beliebigen Meridiane im Verlaufe eines Tages zur Zeit der oberen Kulmination der Sonne erreicht werden. In Wirklichkeit findet aber, wie zu beweisen sein wird, unter den geltenden Verhältnissen eine Verzögerung um $19,5$ Stunden statt, so dass in Fig. 4 der Scheitel H der Ausbuchtung nahezu auf den Beschauer hinweisen müsste, nachdem man NHS über die hintere Seite der Figur um NS nach links gedreht hat. (Vergl. übrigens auch Anm. p. 31.)

Wir wollen nun die Konsequenzen verfolgen, welche die Annahme einer ellipsoidischen Deformation erheischt. — In Fig. 6—9 befindet sich der Beschauer etwas nördlich der Aequatorebene ausserhalb der Erde, und hat die Sonne in seinem Rücken. Dann ist für das ganze Jahr die Achse der Haube nach W, also vom Beobachter her nach links gerichtet. Zur besseren Veranschaulichung vergrössern wir die Verhältnisse und nehmen zu dem Zwecke an, jene Deformation betrage etwa

ebenso viel, wie die Abplattung der Erde, ohne hierbei diese selbst zu berücksichtigen. Wir führen daher folgende Bezeichnungen ein. Es sei

a die Höhe der Deformationshaube CH ,

b der mittlere Erdradius,

ε die Deklination der Sonne,

φ die geographische Breite,

v der Maximalbetrag der Lothschwankung in der Komponente des 1. Vertikals,

m derselbe in der Komponente des Meridians.

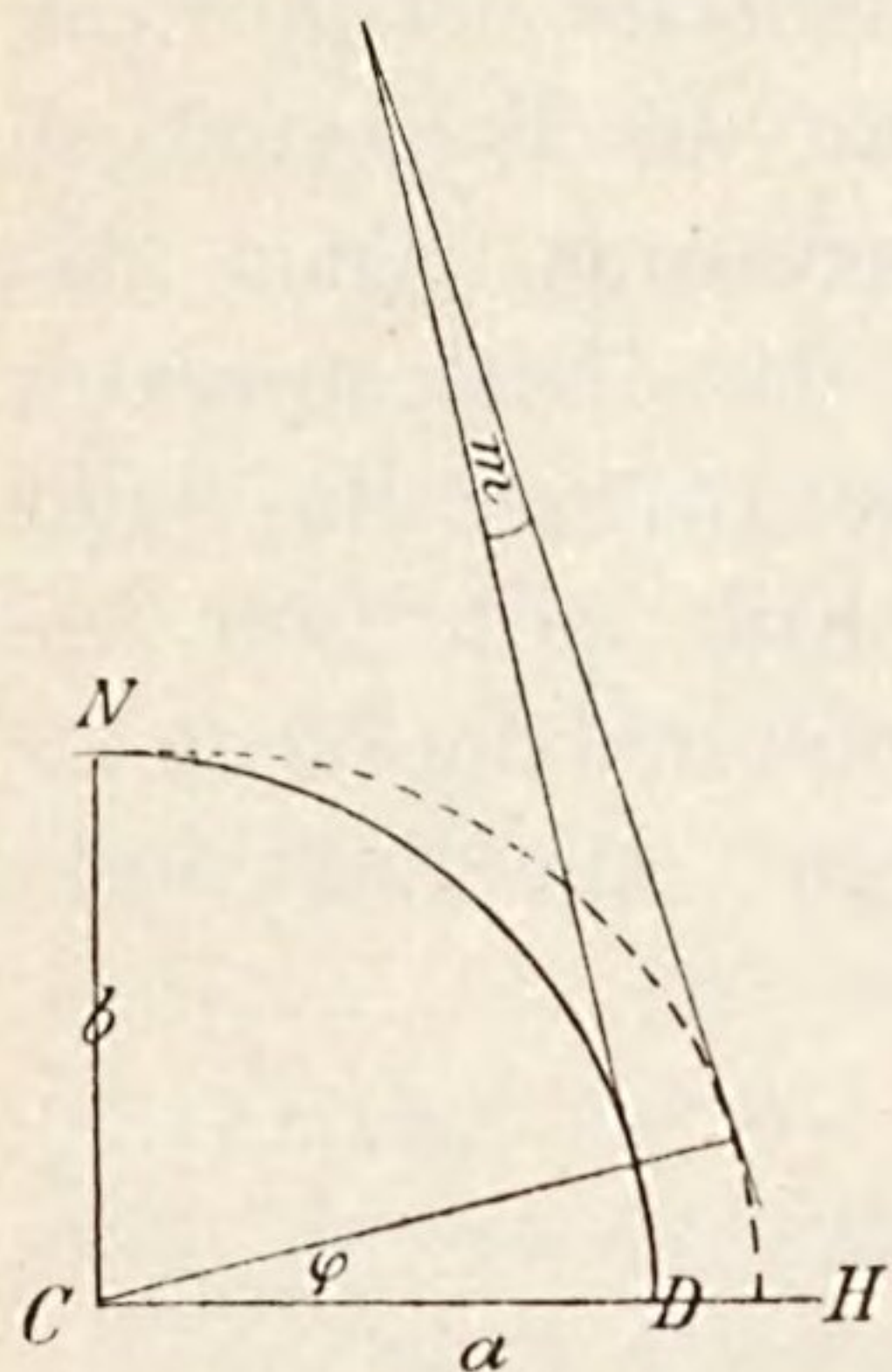
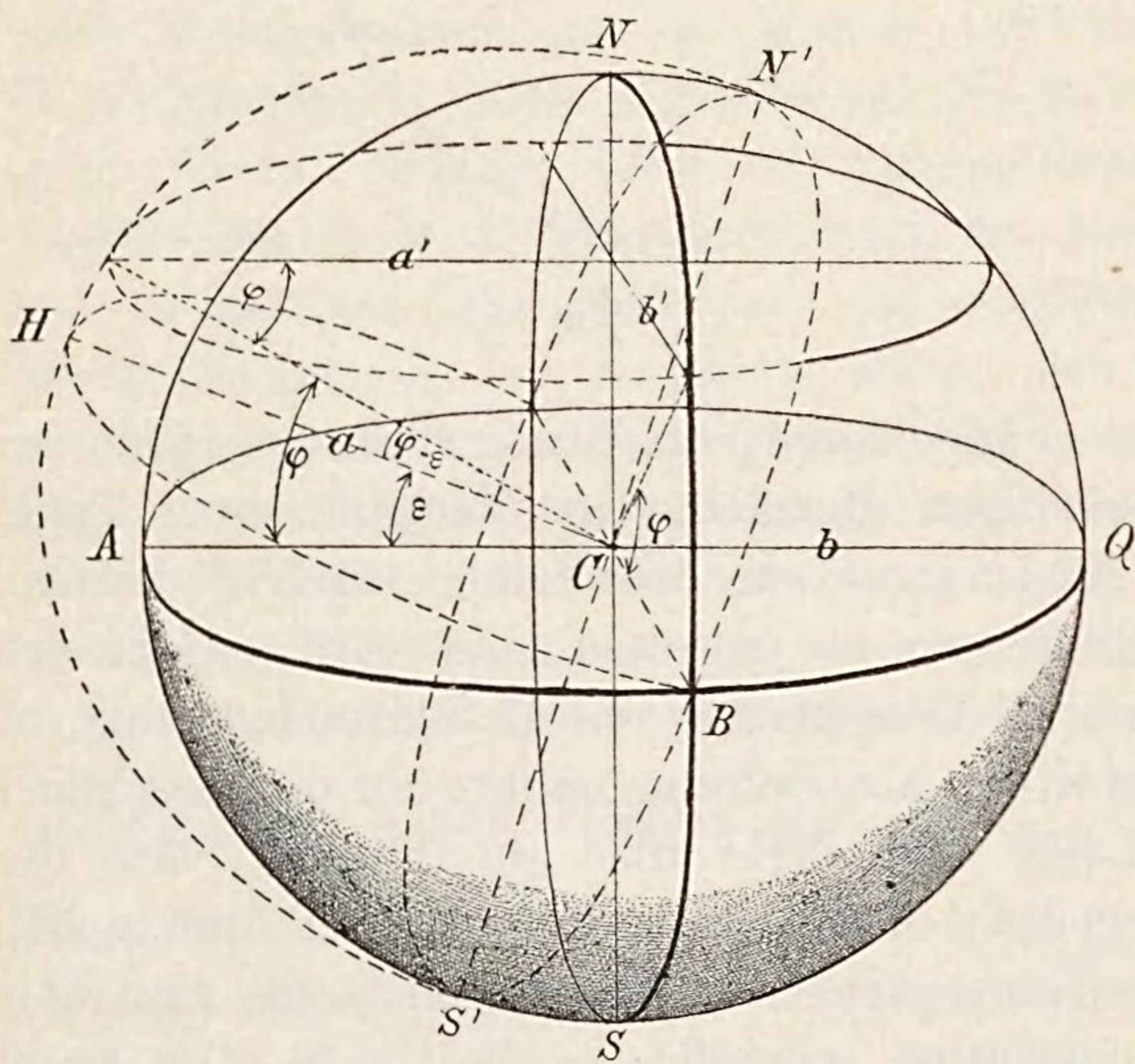


Fig. 5.

Betrachten wir (Fig. 5) einen Achsenschnitt des Erdquadranten NCD und seiner Deformation NCH , so ist (im einfachsten Falle der Aequinoktien) m gleich dem Winkel zwischen den beiden Tangenten, welche an diejenigen Punkte des Schnittkreises und der Ellipse gelegt

werden, in welchen ein Radius in der Breite φ jene Kurven schneidet. Die Berechnung liefert folgende, leicht zu erhaltende Formel

$$1) \tan m = \frac{(a^2 - b^2) \cot \varphi}{a^2 + b^2 \cot^2 \varphi}.$$



Juni 21

Fig. 6.

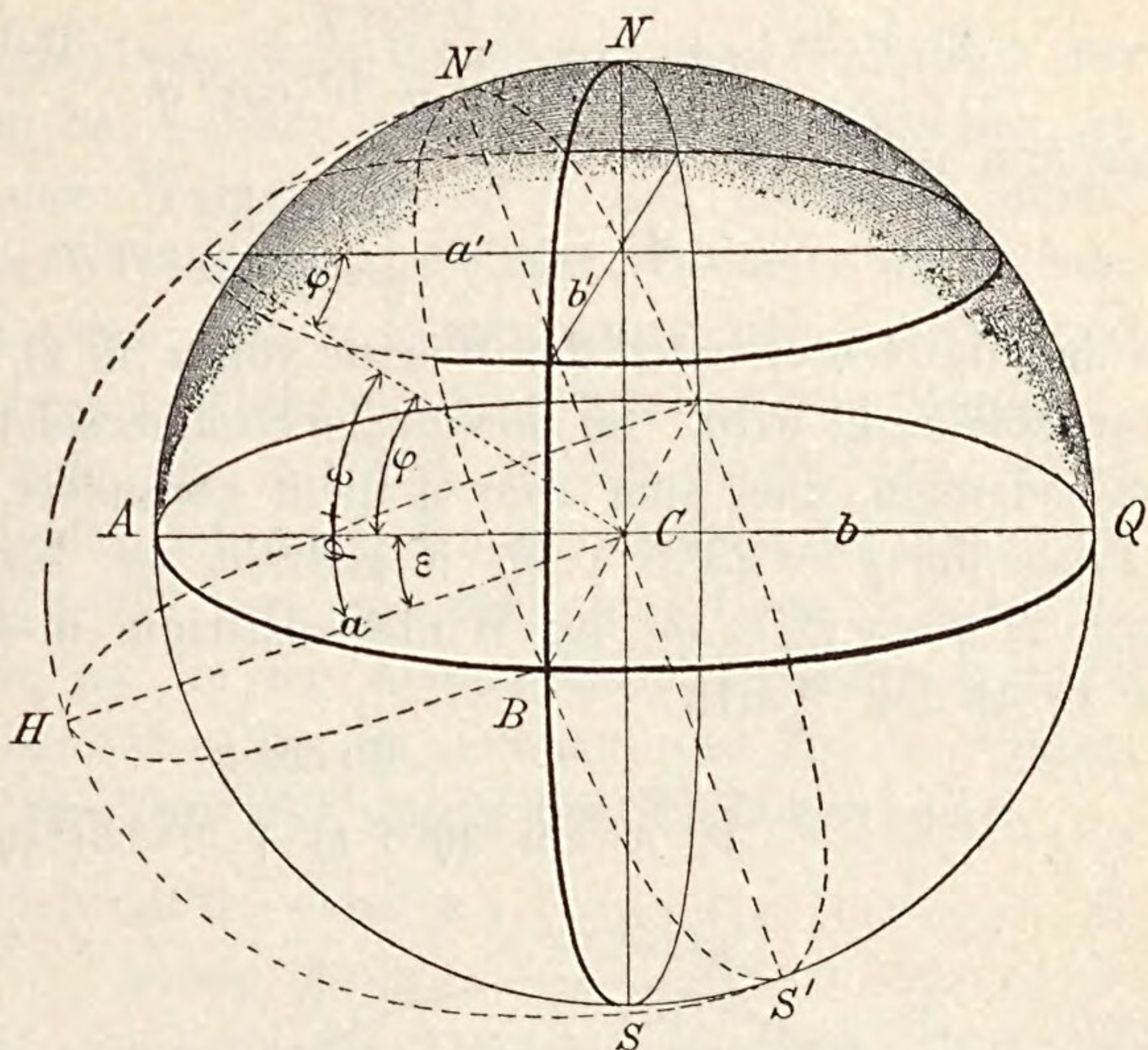
m erreicht sein Maximum für $\varphi = \psi$, wenn sich ψ aus $\tan \psi = \pm \frac{b}{a}$ berechnet; in unserem Falle also immer nahe bei 45° (s. Fig. 8 u. 9).

Im nördlichen Sommersolstitium (Fig. 6), wo $\varepsilon = + 23^\circ,5$ ist, hat man für φ in Formel 1) $\varphi - \varepsilon$ einzusetzen, wie man einsieht, wenn man sich die Entstehung der Deformation vergegen-

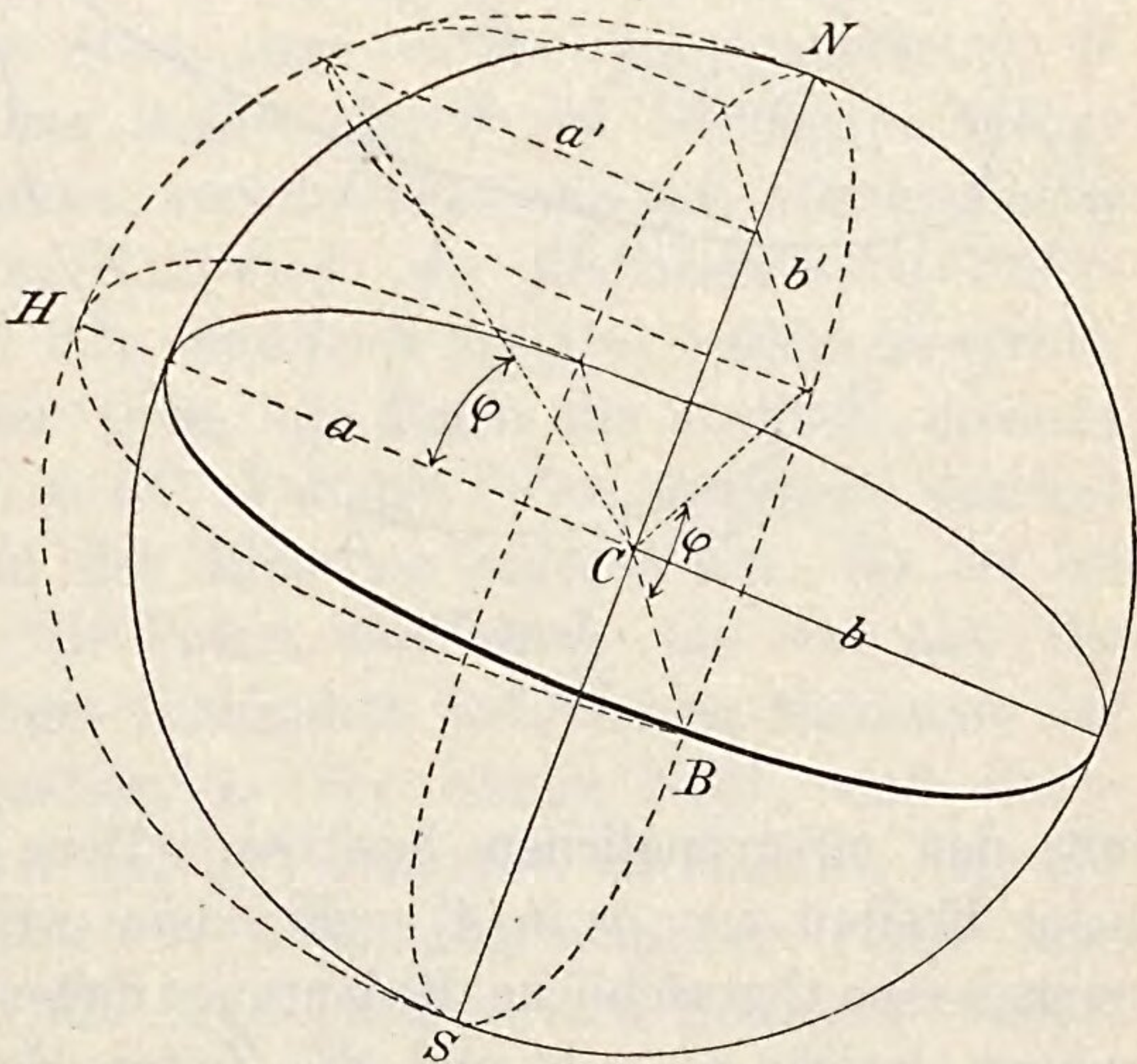
wärtigt. Die erwärmte Erdhälfte wölbt sich nach unserer Annahme in 5 m Tiefe nach $19^\circ,5$ zu ihrem Maximum auf; denkt man sich also als Beispiel einer analogen Erscheinung die Schattengrenze der Erde

festgelegt und sich drehend mit derselben, so liegt sie, abgesehen von der jährlichen Erdbewegung, um $19^h,5$ verschoben, und zwar im Norden um ε gegen Ost, im Süden um ebensoviel nach West gedreht; ebenso befindet sich der Punkt, welcher vor $19,5$ Stunden die Sonne im Zenith hatte, nunmehr im Westen um ε nördlich des Aequators. Das Umgekehrte gilt für das Wintersolstitium (Fig. 7), wenn man für ε jetzt $-\varepsilon$, also in 1) $\varphi + \varepsilon$ für φ einsetzt.

Etwas verwickelter liegen die Verhältnisse für die ost-westliche Lothschwankung v . In den Aequinoktien gilt für den Aequatorschnitt in diesem einfachsten Falle direkt das Obige, wenn wir φ nun als Azimut betrachten. Um das Maximum von v zu erhalten, nehmen wir φ in 1) so nahe gleich 45° an, dass wir $\cot 45^\circ = 1$ setzen können. Gehen wir in eine andere Breite φ , so haben wir zuerst zu betrachten, dass nur der Theil $v \cos \varphi$ zur Beobachtung kommt, wie ohne weiteres aus den Figuren ersichtlich ist. Sodann haben wir für den Parallelschnitt dieselbe Rechnung auszuführen,



Dez. 21
Fig. 7.



März 21
Fig. 8.

sobald die Halbachsen der neuen, kleineren Ellipse, a' b' , bekannt sind. Diese ergeben sich aus Formel 2) und 3)

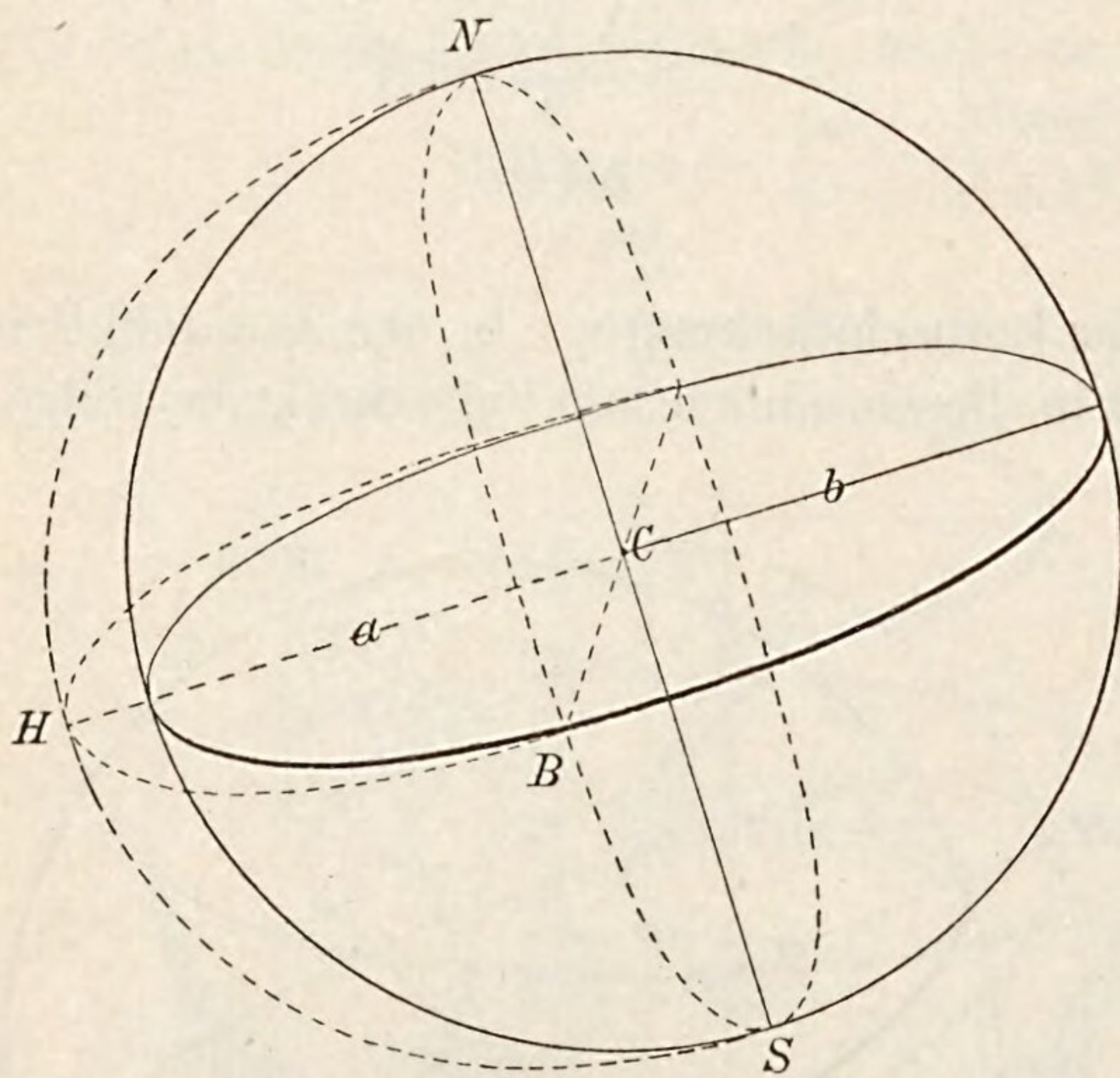
$$2) a' = \frac{a b \cos \varphi}{\sqrt{a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi}}; 3) b' = b \cos \varphi;$$

alsdann ist:

$$4) v_{\max} = \frac{a'^2 - b'^2}{a'^2 + b'^2} \cos \varphi,$$

wobei der Unterschied der Werthe von φ in 2) für a' und in 3) für b' , vernachlässigt wird. Im nördlichen Sommersolstitium haben wir wieder zu bedenken, dass sich zwar φ nicht verändert, wohl aber die Schnittellipse um $\varepsilon = 23^{\circ},5$ nach N gedreht ist. Es ist daher im Nenner von 2) $\varphi - \varepsilon$ statt φ , im Wintersolstitium $\varphi + \varepsilon$ zu setzen, so dass a' in 4) den Werth

$$\frac{ab \cos \varphi}{\sqrt{a^2 \sin^2 (\varphi \mp \varepsilon) + b^2 \cos^2 (\varphi \mp \varepsilon)}}$$



Sept. 21

Fig. 9.

bezw. für Sommer und Winter erhält. Nach den Polen hin vervollständigt sich in deren Sommer (wegen des Uebergreifens der Deformation) die Schnittellipse in ihrer nicht ausgebildeten Hälfte immer weiter, bis von den Polarkreisen ab als Schnitte parallel zum Aequator ganze Ellipsen entstehen. Demgemäss treten noch zwei entsprechende ostwestliche Ablenkungen hinzu, welche in den Polarregionen gleiche Grösse

mit den ursprünglichen besitzen. Der Umstand aber, dass für hohe Breiten $\cos \varphi$ in 4) sehr klein wird, raubt diesen Erscheinungen eine thatsächliche Bedeutung; daher soll auch auf die Veränderungen, welche $a' - b'$ und die Zeiten der Maxima erfahren, hier nicht weiter eingegangen werden. — Betrachten wir nun den Verlauf von m und v für alle Jahreszeiten und alle Breiten.

Zunächst ist zu beachten, dass in 1) $m = 0$ wird für $\varphi = 0$ und $\frac{\pi}{2}$, wie man durch Differentiation und direkt erkennt. m nimmt daher in den Aequinoktien von den Polen und dem Aequator her bis zu seinem Maximum bei nahezu $\pm 45^\circ$ zu. In den Solstitien, zu welchen HC und AC den Winkel $\varepsilon = 23^\circ,5$ mit einander bilden, verschieben sich dieselben Verhältnisse auf der Westseite um ε nach Nord oder Süd, die Maxima von m liegen daher bei $\pm 68^\circ,5$ und $\pm 21^\circ,5$ für nördlichen (+) u. südlichen (—) Sommer und Winter.

Die Dauer der Periode, also die Zeit, welche ein irdischer Punkt braucht, um den Bereich der Deformation (gestrichelt in den Fig.) ganz zu durchlaufen, das heisst 90° vor- und rückwärts (vom Scheitel an gerechnet) zurückzulegen, ist in den Aequinoktien für jedes $\varphi = 12$ Stunden, in den Solstitien $24^h - 2\alpha$ im Sommer und 2α im Winter; wo α in Stunden nach Analogie der Länge der Tagbögen aus

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{\cos^2 \varepsilon - \sin^2 \varphi}}{\cos \varphi \cdot \cos \varepsilon} \quad (\varepsilon = 23^\circ,5)$$

zu berechnen ist. Eine geometrische Ueberlegung lehrt, dass für $\varphi > \pm 66^\circ,5$ zwei halbtägige Perioden m entstehen. Denn steht das Pendel an den Polen in einem gegebenen Augenblick senkrecht zur Richtung der Achse CH, so zeigt es zu dieser Zeit einen Ausschlag in der Richtung HNQ, nach 12^h sodann einen zweiten, geringeren im gleichen Sinne. Wegen der Drehung der Erde aber um 180° ist der letztere Ausschlag in Bezug auf das Stativ dem ersteren entgegengesetzt. In den Zwischenzeiten geht das Pendel durch die Gleichgewichtslage hindurch. Das zweite Maximum verschwindet nun mit abnehmendem φ , bis es bei $\varphi = \pm 66^\circ,5$ zu Null wird, wo die Grenze der Deformation erreicht ist, während das erste noch bis $\varphi = \pm 68^\circ,5$ anwächst. Die Verbindungslinie beider Orte, an denen die Nulllage erreicht wird, steht stets senkrecht ¹⁾ zu HC. Von den Polen ausgehend wandert sie mit abnehmendem φ in der Richtung nach Q hin, bis sie bei $\varphi = \pm 66^\circ,5$ Tangente an die Polarkreise wird, bis sich also die Periode m in eine eintägige verwandelt hat, deren Maximum der polwärts gerichteten Elongation in der Ebene NCH, und deren Minimum 12 Stunden später erfolgt, letzteres ist zugleich mit der grössten äquatorwärts gerichteten Ablenkung identisch. Legt man nun weitere Schnitte durch die Erde parallel zum Aequator, indem

¹⁾ In Fig. 6—9 und in der Diskussion ist die belanglose Vereinfachung eingeführt, die Verspätung betrage gerade 18 Stunden. Auch ist bezüglich der Figuren zu bedenken, dass a sehr nahe gleich b ist.

man sich demselben nähert, so rückt die Verbindungslinie der Nulllagen von $\varphi = \pm 66^{\circ},5$ ab wieder näher an die Linie NS heran, bis sie dieselbe am Aequator schneidet. Oestlich der Nulllinie findet, da die Deformation durch ein halbes Ellipsoid dargestellt wird, keine Ablenkung statt. — Aus obigem folgte, dass in dem Punkte H selbst zu allen Jahreszeiten $m = 0$ ist, da hier der Kugelradius auf der Ellipse senkrecht steht. Für $\varphi = \pm 23^{\circ},5$ treten daher in den Solstitien zwei Ablenkungen polwärts etwa 3^h vor und nach dem Erreichen der Ebene HCN ein; für kleinere φ kehrt sich der Sinn der Ablenkung in der Ebene HCN um, und nach den Polen hin konvergiren die Maxima wiederum nach dem Scheitel NH.

Die Veranschaulichung der ost-westlichen Bewegung v ist sofort gegeben, wenn wir die Erde vom Nordpol aus betrachten. Bei der Drehung von West noch Ost erkennt man, dass 3^h vor dem Erreichen des westlichen Scheitels das Maximum der West-, 3^h danach das der Ostablenkung für alle Breiten, zu allen Jahreszeiten eintritt, deren Grösse v von dem Verhältniss der Halbachsen der betreffenden Ellipsen abhängt. Dazu kommt, dass, wie erwähnt, der Faktor $\cos \varphi$ hinzutritt, und daher v an den Polen $= 0$ wird.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die Schattengrenze über das ganze System um 2ε hin und herschwankt, dass aber die Scheitelebene HS'N' immer tangential zur Ekliptik steht und sich um die Achse CB (s. Fig. 6—9) um den Betrag ε vor- und rückwärts von NS dreht.

Um den Gang dieser Bewegungen noch deutlicher zu machen, dient Tabelle IV, in welcher, um grössere Zahlen zu erhalten, die erwähnte übertriebene Annahme gemacht ist, die Erwärmung durch die Sonne verlängere den Radius der Erde in der Richtung CH um den Werth der Abplattung, so dass $a = 6378,3$ km wird, wobei die Erde als Kugel von dem kleineren Radius $b = 6356,5$ km angenommen ist. Zu den Werthen von v tritt der Faktor 2, da, wie erwähnt, erst eine westliche, und dann eine östliche Ablenkung eintritt, deren Aufeinanderfolgen beobachtet wird. Dasselbe gilt bei m für $\varphi = \pm 90^{\circ}$ für Sommer und Winter, da wir die zweite entgegengesetzte, scheinbare Ablenkung mitzurechnen haben. In der Tabelle sind also für verschiedene ausgezeichnete Breiten und für die zwei Aequinoktien und Solstitien die Beträge von m und $2v$ in HNS, bzw. 3^h vor- und nachher nach obigen Formeln 1) bis 4) in Bogenminuten berechnet, und man wird, vor allem mit Hilfe der graphischen Veranschaulichung (Fig. 10 und 11) den Gang der Funktionen nunmehr wohl

übersehen können. Doch ist nie zu vergessen, dass für den Fall, dass die Installationswirkungen gleich Null sind, die gesuchten Grössen die Halbachsen a' , die beobachteten dagegen die Werthe m und v sind, dass also für die Praxis die Verwerthung der Formeln eine umgekehrte zu sein hat.

Tabelle IV.

nördliches:

φ	Frühlings-Aequinokt.		Sommer-Solstitium		Herbst-Aequinokt.		Winter-Solstitium		φ
	2 v	m	2 v	m	2 v	m	2 v	m	
$+ 90^0$	0'	0'	0'	8',5 (17,0)	0'	0'	0'	0'	$+ 90^0$
66,5	1,6	8,5	5,0	13,3	1,6	8,5	0	0	66,5
45	8,2	11,7	13,6	8,0	8,2	11,7	2,2	7,9	45
$+ 23,5$	18,0	8,6	21,4	0	18,0	8,6	10,0	11,7	$+ 23,5$
0	23,4	0	19,6	8,6 (Nord)	23,4	0	19,6	8,6 (Süd)	0
$-- 23,5$	18,0	8,6	10,0	11,7	18,0	8,6	21,4	0	$-- 23,5$
45	8,2	11,7	2,2	7,9	8,2	11,7	13,6	8,0	45
66,5	1,6	8,5	0	0	1,6	8,5	5,0	13,3	66,5
$- 90$	0	0	0	0	0	0	0	8,5 (17,0)	$- 90$

Vergleicht man mit diesen theoretischen Ergebnissen nun die Beobachtungen, sowohl die im Jahre 1892--93 angestellten, wie auch die neueren, also die Grösse m für etwa $+ 45^0$, so ergibt sich ein im Ganzen paralleler Gang. Den Beobachtungen entsprechend hat m eine einjährige und eine halbjährige Periode. Das Maximum der ersteren liegt im Spätherbst, die Maxima der halbjährigen Schwankung im Spätfrühjahr und Spätsommer, ihre Minima im Sommer und Winter. Die halbjährige Periode findet sich (Fig. 11 und Tabelle IV) in der Theorie direkt abgebildet, aber auch die einjährige ist ein Erforderniss der Theorie. Da nämlich die sommerliche Periode, d. h. der Theil, für den die Nordablenkung stattfindet, also der gestrichelte Theil des Umlaufs in Figur 6 bis 9, eine längere Dauer als die winterliche besitzt, so ist die Mittellage des Pendels, wenn man die 24 Beobachtungen eines Sommertages zusammenfasst, nördlicher als die ebenso gewonnene Mittellage eines Wintertages. Hierin drückt sich aber schon die ganzjährige Periode völlig aus. Die stärkere Ausbildung des Frühlingsmaximums ist, wie dies schon v. Rebeur

nachwies, eine Folge der grösseren Temperaturschwankung im April gegenüber derjenigen in den Herbstmonaten. Die Deformation nähert sich dann der theoretischen Form eines Halbellipsoides vollkommen,

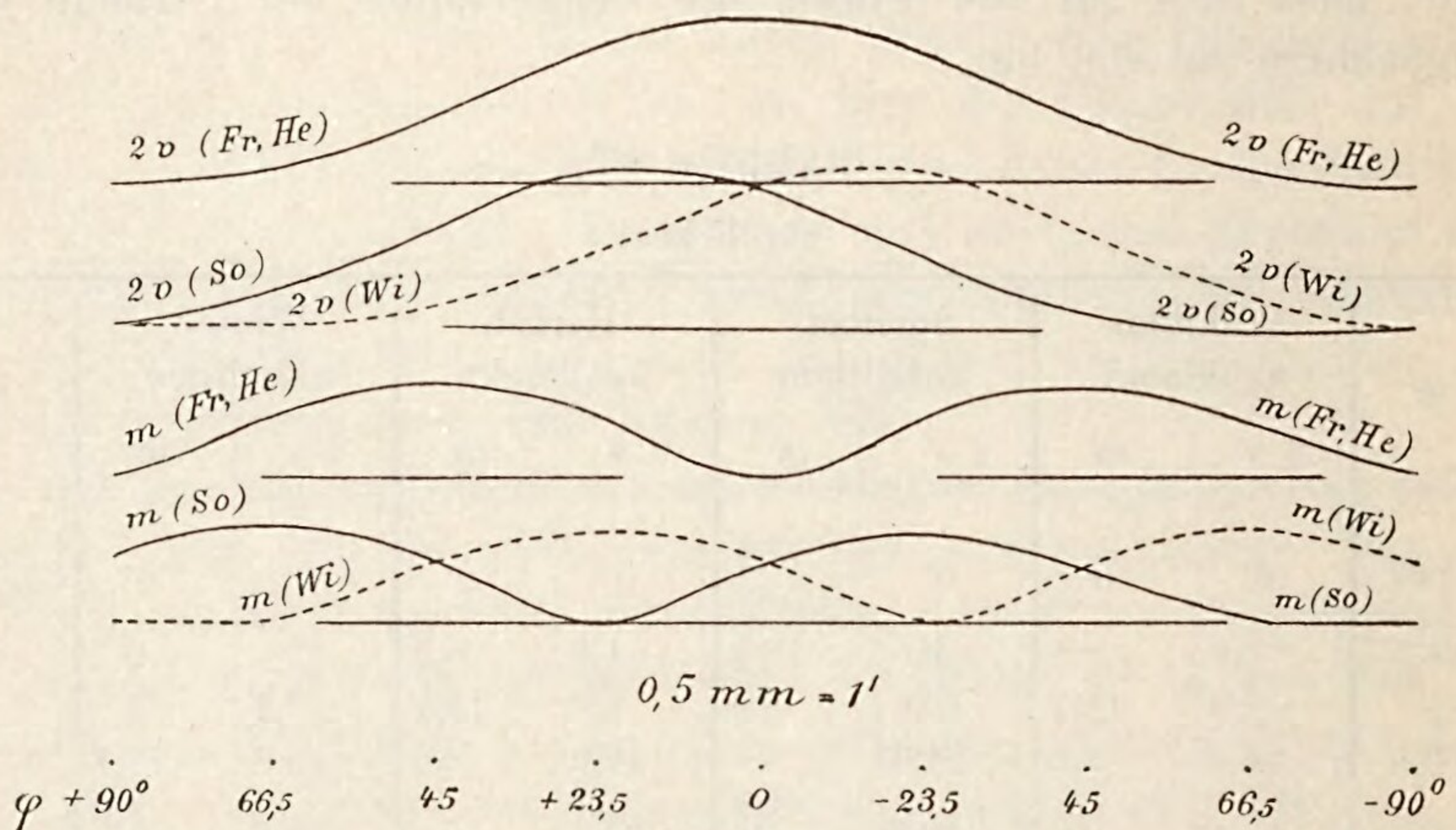


Fig. 10.

(Verlauf von m und $2v$ für jede Jahreszeit in allen Breiten. $0,5 \text{ mm} = 1'$. gestrichelt = Winter. Gültig ist m für HCN.)

während in gleichmässiger temperirten Zeiten, wie im Herbst und im Winter, die Deformation über die andere Erdhälfte weiter über-

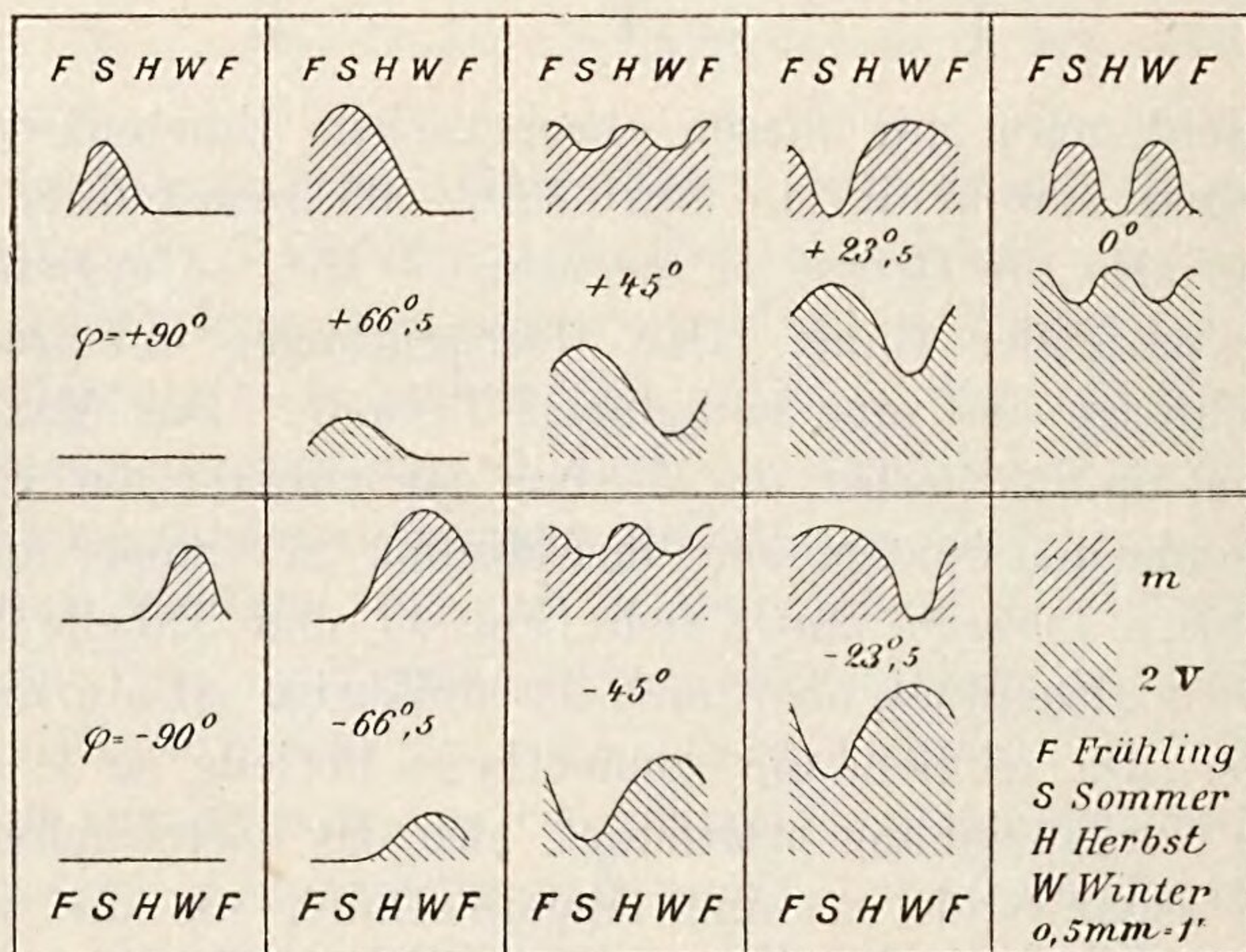


Fig. 11.

(Verlauf von m und $2v$ für jede Breite in allen Jahreszeiten.)

greift. Ähnliche Konsequenzen lassen sich nun noch für die anderen Reihen der Tabelle IV ziehen, doch interessieren hier nur die besprochenen.

Es erübrigt noch, die merkwürdigen Phasenänderungen in der eintägigen Sonnenwelle zu betrachten. Nach den Beobachtungen tritt eine Verfrühung des täglichen Nordmaximums im Sommer, eine Verspätung desselben im Winter ein, was man am besten an dem Verlauf von M_i in Tabelle VIIIb bei v. Rebeur (l. c. pag. 294 f.) ersieht. Bereits vorhin wurde darauf hingewiesen, dass m im Sommer für $\varphi = +45^\circ$ in der Ebene NHS zwar nahe gleich Null sei, aber in den Zeiten vor- und nachher zwei Maxima besitzen müsse, welche sich mit wachsender Breite jener Ebene nähern, um sie am Nordpol ganz zu erreichen. Wir erhalten für m allgemein in einem Schnitte durch $N'S'$ (s. Fig. 6 bis 9) im Azimute α von H gerechnet

$$\text{tang } m = \frac{(a'^2 - b'^2) \cot (\varphi \mp \varepsilon \cos \alpha)}{a'^2 + b'^2 \cot^2 (\varphi \mp \varepsilon \cos \alpha)},$$

worin

$$a' = \frac{ab}{\sqrt{a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \cos^2 \alpha}} \text{ und } b' = b$$

ist, und das obere und untere Vorzeichen für Sommer und Winter der nördlichen Halbkugel gilt. Hiernach ist z. B. für $\varphi = +45^\circ$ und $\alpha = 15^\circ$ im nördlichen Sommersolstitium $m = 8',2$, während für $\alpha = 0$ nach der Tabelle $m = 8',0$ ist. Das erste Maximum wird also früher erreicht als die Ebene SHN. Sind nun zwar für die Sommermonate zwei Maxima in der Nähe von $19^h,5$ in den Beobachtungen nicht immer deutlich sichtbar, so scheint doch eine Verlängerung der Maximalzeit auf solche hinzudeuten. Dagegen findet die bedeutende Verspätung im Winter durch diese Theorie keine Erklärung, welche vielmehr gleiche Phasen für Herbst, Winter und Frühling erforderte. Die Ursache liegt vielmehr in dem einfachen Umstande, dass kleinere Wärmemengen den Feldboden langsamer ausdehnen und auftreiben als grössere. Es ist klar, dass die sommerliche Verfrühung hierin ebenfalls begründet ist.

Es sei auch ferner ausdrücklich erwähnt, dass das sekundäre Maximum gegen 9^h , welches nur v. Rebeur beobachtete, durch diese Theorie direkt keine Begründung erfährt. Vielmehr scheint hier, da sich 9^h gegen das Maximum im Winter, wo diese Erscheinung am deutlichsten ist, um 12 Stunden unterscheidet, ein Problem der Elasticität vorzuliegen. Denn eine zweite Aufwölbung, deren Scheitel diametral zu H liegt, würde den Beobachtungen gut entsprechen, eine solche würde aber nicht der direkten Sonnenerwärmung zuzu-

schreiben sein, sondern einer durch die Hauptwölbung erzeugten, elastischen Rückwirkung.

Diese ganze Konstruktion lässt sich natürlich auch allgemein durchführen, indem wir den Winkel bestimmen, den die Normale auf dem Rotationsellipsoid in dem Schnittpunkte mit einem beliebigen Radius vector mit diesem bildet, während das Ellipsoid gegen das Aequatorialsystem der Kugel konzentrisch zu derselben beliebig verdreht ist.

Im Interesse der mathematischen Behandlung wird es gut sein, die allgemeinen Formeln zu entwickeln und sodann durch Beschränkung auf die gegebenen Verhältnisse die oben bereits erhaltenen

Ausdrücke wieder zu bekommen. Wir werden zuerst von einer Verdrehung absehen, und die Drehachse des Ellipsoides mit der im Kugeläquator gelegenen y-Achse zusammenfallen lassen.

Wie vorhin sei der Kugelradius und die beiden kleinen Halbachsen des Ellipsoides $= b$, die grosse $= a$. Die x- und y-Achse bestimmen den Erdäquator, und es sei die positive Richtung der

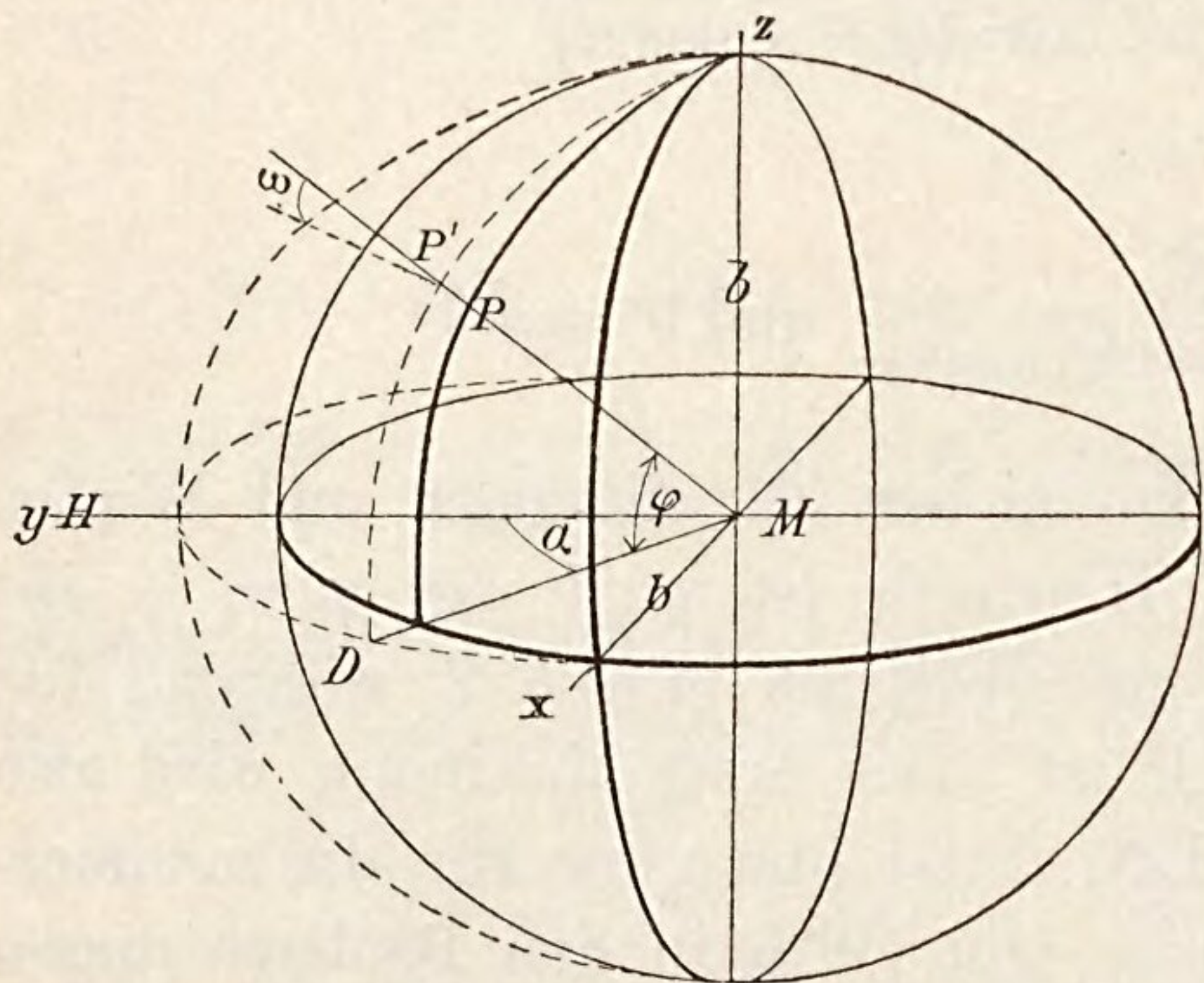


Fig. 12.

x-Achse stets zur Sonne, die der y-Achse senkrecht dazu nach W gerichtet, die positive z-Achse gehe durch den Nordpol. Die a-Achse des Ellipsoides falle vorerst mit der y-Achse zusammen. Wir rechnen das Azimut eines beliebigen Radius vector, α , von der positiven y-Achse über Süd nach Ost, die Breite φ , wie üblich, vom Aequator zu den Polen hin.

Die Mittelpunktsgleichung der Kugel ist:

$$1) \ x^2 + y^2 + z^2 = b^2,$$

Des Ellipsoids:

$$2) \ \frac{x^2 + z^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1.$$

Die Gleichung der Tangentialebene an eine Fläche zweiter Ordnung:

$$Z - z = \frac{dz}{dx} (X - x) + \frac{dz}{dy} (Y - y),$$

also für 1) und 2)

$$3) \quad Xx + Yy + Zz = b^2$$

$$Z - z = - \frac{x}{z} (X - x) - \frac{b^2}{a^2} \frac{y}{z} (Y - y),$$

oder, da $a^2x^2 + a^2z^2 + b^2y^2 = a^2b^2:$

$$4) \quad a^2Xx + b^2Yy + a^2Zz = a^2b^2.$$

Wir führen Polarkoordinaten ein. Für den Punkt P ist (Fig. 12):

$$\left. \begin{aligned} x &= b \cos \varphi \sin \alpha \\ y &= b \cos \varphi \cos \alpha \\ z &= b \sin \varphi; \end{aligned} \right\} 5) \quad \text{für } P' \text{ ist:}$$

$$\begin{aligned} x &= MP' \cdot \cos \varphi \sin \alpha \\ y &= MP' \cdot \cos \varphi \cos \alpha \\ z &= MP' \sin \varphi. \end{aligned}$$

Es ist aber

$$MP' = \frac{b MD}{\sqrt{MD^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi}}; \text{ also, da } MD = \frac{ab}{\sqrt{a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \cos^2 \alpha}},$$

$$MP' = \frac{ab}{\sqrt{a^2 \sin^2 \varphi + a^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \varphi + b^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \varphi}} = \frac{ab}{\sqrt{N}};$$

folglich ist für P':

$$6) \quad x = \frac{ab}{\sqrt{N}} \cos \varphi \sin \alpha; \quad y = \frac{ab}{\sqrt{N}} \cos \varphi \cos \alpha; \quad z = \frac{ab}{\sqrt{N}} \sin \varphi.$$

Setzen wir 5) in 3) und 6) in 4) ein, so wird:

$$7) \quad X \cos \varphi \sin \alpha + Y \cos \varphi \cos \alpha + Z \sin \varphi = b$$

$$8) \quad X \frac{a^2 \cos \varphi \sin \alpha}{\sqrt{N}} + Y \frac{b^2 \cos \varphi \cos \alpha}{\sqrt{N}} + Z \frac{a^2 \sin \varphi}{\sqrt{N}} = ab.$$

Die Gleichung einer Ebene hat die Form:

$$AX + BY + CZ + D = 0, \text{ wenn}$$

$$\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \xi; \quad \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \eta; \quad \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \zeta$$

die Richtungskosinus des senkrechten Abstandes der Ebene vom Anfangspunkte sind, und der Abstand δ selbst gleich

$$-\frac{D}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \text{ ist.}$$

Darnach ist für die Tangentialebene an P infolge 7):

$$9) \quad \xi_1 = \cos \varphi \sin \alpha; \quad \eta_1 = \cos \varphi \cos \alpha; \quad \zeta_1 = \sin \varphi$$

und für die Tangentialebene an P' infolge 8):

$$\left. \begin{aligned} \xi_2 &= \frac{\frac{a^2 \cos \varphi \cdot \sin \alpha}{\sqrt{N}}}{\sqrt{\frac{a^4 \cos^2 \varphi \cdot \sin^2 \alpha}{N} + \frac{b^4 \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha}{N} + \frac{a^4 \sin^2 \varphi}{N}}}, \text{ oder:} \\ &= \frac{a^2 \cos \varphi \sin \alpha}{\sqrt{a^4 \cos^2 \varphi \sin^2 \alpha + b^4 \cos^2 \varphi \cos^2 \alpha + a^4 \sin^2 \varphi}} = \frac{a^2 \cos \varphi \cdot \sin \alpha}{\sqrt{M}} \\ \eta_2 &= \frac{b^2 \cos \varphi \cos \alpha}{\sqrt{M}}; \quad \zeta_2 = \frac{a^2 \sin \varphi}{\sqrt{M}}. \end{aligned} \right\} (10)$$

Nun ist der Winkel ω zwischen den Normalen zweier Ebenen

$$X\xi_1 + Y\eta_1 + Z\zeta_1 = 0 \text{ und } X\xi_2 + Y\eta_2 + Z\zeta_2 = 0:$$

$$11) \quad \sin^2 \omega = \frac{(\eta_1 \zeta_2 - \eta_2 \zeta_1)^2 + (\zeta_1 \xi_2 - \zeta_2 \xi_1)^2 + (\xi_1 \eta_2 - \xi_2 \eta_1)^2}{(\xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2)(\xi_2^2 + \eta_2^2 + \zeta_2^2)}$$

$$12) \quad \cos \omega = \frac{\xi_1 \xi_2 + \eta_1 \eta_2 + \zeta_1 \zeta_2}{\sqrt{(\xi_1^2 + \eta_1^2 + \zeta_1^2)(\xi_2^2 + \eta_2^2 + \zeta_2^2)}}$$

Setzen wir 9) und 10) in 11) und 12) ein, so ist:

$$\sin \omega = \frac{(a^2 - b^2) \cos \varphi \cos \alpha \sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha}}{\sqrt{a^4 (\cos^2 \varphi \sin^2 \alpha + \sin^2 \varphi) + b^4 \cos^2 \varphi \cos^2 \alpha}}$$

$$\cos \omega = \frac{a^2 (\cos^2 \varphi \sin^2 \alpha + \sin^2 \varphi) + b^2 \cos^2 \varphi \cos^2 \alpha}{\sqrt{a^4 (\cos^2 \varphi \sin^2 \alpha + \sin^2 \varphi) + b^4 \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha}}$$

und mithin:

$$13) \quad \tan \omega = \frac{(a^2 - b^2) \cos \varphi \cdot \cos \alpha \sqrt{1 - \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha}}{a^2 (\cos^2 \varphi \sin^2 \alpha + \sin^2 \varphi) + b^2 \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Diese Formel geht sofort in 1) pag. 28 über, wenn wir $\alpha = 0$ setzen; für $\varphi = 0$ erhalten wir den gleichen Ausdruck bezüglich α .

Nunmehr drehen wir das Ellipsoid um M um einen beliebigen Winkel, den wir sofort in drei Drehungen um die x-, y-, und z-Achse zerlegen. Die Drehung um die x-Achse sei Φ , und zwar positiv in der Richtung von der positiven z- zur positiven y-Achse. Um die

y-Achse drehen wir positiv um X von der positiven z- zur positiven x-Achse; um die z-Achse endlich positiv um den Winkel A von der positiven y- zur positiven x-Achse.

φ und α bezogen auf die neuen x' -, y' -, z' -Achsen seien φ' und α' , und es werden die Richtungskosinus von MP bezüglich des neuen Systems :

$$\begin{aligned} \cos \varphi' \sin \alpha' &= \cos \varphi \sin \alpha \xi_1 + \cos \varphi \cos \alpha \eta_1 + \sin \varphi \zeta_1 \\ 14) \quad \cos \varphi' \cos \alpha' &= \cos \varphi \sin \alpha \xi_2 + \cos \varphi \cos \alpha \eta_2 + \sin \varphi \zeta_2 \\ \sin \varphi' &= \cos \varphi \sin \alpha \xi_3 + \cos \varphi \cos \alpha \eta_3 + \sin \varphi \zeta_3 \end{aligned}$$

worin $\xi_1 \eta_1 \zeta_1$ die Richtungskosinus der x' -Achse bezüglich der x -, y -, z -Achsen, $\xi_2 \eta_2 \zeta_2$ und $\xi_3 \eta_3 \zeta_3$ dasselbe für die y' - und z' -Achse sind.

Diese Grössen berechnen sich aber folgendermaassen:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \cos A \cos X \\ \eta_1 &= -\sin A \cos X \\ \zeta_1 &= -\sin X, \\ \xi_2 &= \sin (A-M) \sqrt{\cos^2 \Phi + \sin^2 \Phi \sin^2 X} \\ \eta_2 &= \cos (A-M) \sqrt{\cos^2 \Phi + \sin^2 \Phi \sin^2 X} \\ \zeta_2 &= -\sin \Phi \cos X, \end{aligned}$$

wenn $\tan M = \tan \Phi \sin X$ ist

$$\begin{aligned} \xi_3 &= \sin (M + A) \cdot \sqrt{\sin^2 \Phi + \cos^2 \Phi \sin^2 X} \\ \eta_3 &= \cos (M + A) \cdot \sqrt{\sin^2 \Phi + \cos^2 \Phi \sin^2 X} \\ \zeta_3 &= \cos \Phi \cos X, \end{aligned}$$

wenn $\tan M = \cotang \Phi \sin X$ ist.

Also wird 14):

$$15) \left\{ \begin{aligned} \cos \varphi' \sin \alpha' &= \cos \varphi \sin \alpha \cos A \cos X - \cos \varphi \cos \alpha \sin A \cos X \\ &\quad - \sin \varphi \sin X \\ \cos \varphi' \cos \alpha' &= \cos \varphi \sin \alpha \sin (A-M) \sqrt{\cos^2 \Phi + \sin^2 \Phi \sin^2 X} \\ &\quad + \cos \varphi \cos \alpha \cos (A-M) \sqrt{\cos^2 \Phi + \sin^2 \Phi \sin^2 X} \\ &\quad - \sin \varphi \sin \Phi \cos X. \\ \sin \varphi' &= \cos \varphi \sin \alpha \sin (A + M) \sqrt{\sin^2 \Phi + \cos^2 \Phi \sin^2 X} \\ &\quad + \cos \varphi \cos \alpha \cos (A + M) \sqrt{\sin^2 \Phi + \cos^2 \Phi \sin^2 X} \\ &\quad + \sin \varphi \cos \Phi \cos X. \end{aligned} \right.$$

Hieraus erhalten wir $\cos \varphi'$, $\sin \varphi'$, $\cos \alpha'$, $\sin \alpha'$, welche wir für $\cos \varphi$, $\sin \varphi$, $\cos \alpha$, $\sin \alpha$, in Gleichung 13) einzusetzen haben, womit die Aufgabe gelöst ist.

Da wir von Schwankungen der Erdachse absehen, ist X immer gleich 0 zu setzen; es wird dann 15):

$$16) \left\{ \begin{array}{l} \cos \varphi' \sin \alpha' = \cos \varphi \sin \alpha \cos A - \cos \varphi \cos \alpha \sin A \\ \cos \varphi' \cos \alpha' = \cos \varphi \sin \alpha \cos \Phi \sin A + \cos \varphi \cos \alpha \cos \Phi \cos A \\ \quad - \sin \varphi \sin \Phi \\ \sin \varphi' = \cos \varphi \sin \alpha \sin \Phi \sin A + \cos \varphi \cos \alpha \sin \Phi \cos A \\ \quad + \sin \varphi \cos \Phi. \end{array} \right.$$

Unsere frühere Annahme bei der speziellen Untersuchung erfordert mit Rücksicht auf die Zählung von A , $A = 0$, da die Verspätung der Aufwölbung der Einfachheit wegen $= 18^h$ angenommen wurde. Ist die Verspätung $\gtrless 18^h$, so ist $A \gtrless 0$ und zwar gleich dem Unterschied von 18^h in Graden ausgedrückt. Dann wird 16):

$$17) \left\{ \begin{array}{l} \cos \varphi' \sin \alpha' = \cos \varphi \sin \alpha \\ \cos \varphi' \cos \alpha' = \cos \varphi \cos \alpha \cos \Phi - \sin \varphi \sin \Phi \\ \sin \varphi' = \cos \varphi \cos \alpha \sin \Phi + \sin \varphi \cos \Phi. \end{array} \right.$$

Setzt man nun noch $\alpha = 0$, so erhält man für 13) direkt den Ausdruck, wie er aus pag. 28 unten resultirt, wenn $\varepsilon = \Phi$ gesetzt ist. In der That variirt Φ von $+23^{\circ},5$ bis $-23^{\circ},5$, während früher die Solstitien für sich untersucht wurden.

Wir können nun wieder alle Folgerungen ziehen, welche wir oben bereits durch Anschauung gewonnen hatten. Lassen wir φ konstant und variiren α , so erhalten wir die ostwestliche Komponente der Veränderungen von ω , oder, nach der früheren Bezeichnung, v . Den Maximalwerth erhalten wir, wie die Differentiation zeigt, für $\alpha = \alpha'$, wenn $\tan \alpha' = \frac{b}{a}$ ist, und im Laufe eines Tages wird derselbe viermal erreicht. Da die Sonne aber nur die Halbkugel erwärmt, so entsteht, wie früher erörtert, ein halbes Ellipsoid, und die Komponente von ω hat für $\Phi = 0$ nur zwei Maxima. Für $\Phi \gtrless 0$ treten, wie die Rechnung zeigt, mit wachsendem φ allmählich die dritte und vierte Ablenkung herzu, welche von den betreffenden Polarkreisen ab der ersten und zweiten gleich werden, also mit diesen im Sommer auf der Nord-, im Winter auf der Südhalbkugel vier symmetrische Umkehrpunkte des Pendels bedeuten. Natürlich kommt nur der Teil $v \cos \varphi$ zur Beobachtung.

Lassen wir aber α konstant und variiren φ , so erhalten wir die nordsüdliche Komponente der Veränderungen von ω , welche ihr Maximum für $\alpha = 0$ besitzt. Im Laufe des Tages, oder, was dasselbe ist, während α alle Werthe von 0° bis 360° durchläuft, haben

wir, um die Grösse m der früheren Untersuchung zu erhalten, die Breite eines beliebigen Ortes für φ einzusetzen. Dann erfährt das Pendel zu der Zeit, zu welcher $\alpha = 0$ ist, das Maximum seiner Nordablenkung. Auch hier ergeben sich für besondere φ die besprochenen Zeichenwechsel und die doppelte Periode für die Polarregionen in deren Sommer.

Diese schematische Darstellung wurde gewählt, weil eine solche zur Uebersicht am geeignetsten erscheinen musste. Dass die Meeresbecken, insbesondere der grosse Ocean, an der Deformation nicht theilnehmen, ist ohne Weiteres klar, doch leidet der Zusammenhang der Erscheinung darunter aus dem Grunde nicht, weil die Höhe der Auftreibung, $(a - b) \cos \varphi$, eine Funktion der Sonnenwirkung ist. Am meisten werden sich die Verhältnisse auf der Landhalbkugel im nördlichen Sommer der Theorie nähern, insbesondere in geologisch ungestörtem Gebiete, zu welchen in beschränktem Sinne auch die Grabensohle der oberrheinischen Tiefebene gezählt werden kann. An Küsten werden die Meeresgezeiten, in topographisch oder geologisch komplizirten Gebieten, besonders, wenn in Bezug auf den Standort des Apparates einseitiger Waldbestand vorhanden ist, werden diese lokalen Faktoren die Erscheinung in verschiedener Weise modifiziren, ja verdecken. In Strassburg, und in den meisten Fällen überhaupt, wo der Apparat in einem Gebäude steht, welches durch seinen Schatten eine thermische Abnormität für die nähere Umgebung erzeugt, wird selbst der Boden in 5 m Tiefe von dieser lokalen Beeinflussung nicht unberührt bleiben. Der Umstand aber, dass das quantitative Verhältniss der lokalen und der allgemeinen Ursache unbekannt ist, macht es unmöglich, die Grösse $(a - b) \cos \varphi$ überall dort zu bestimmen, wo der lokale Faktor nicht überhaupt verschwindet.

Für jede tiefer liegende Schicht gelten dieselben Betrachtungen in abgeschwächtem Grade. Die fortgeleitete elastische Deformation macht sich in geringerem Maasse auch dort noch bemerkbar. Es entstehen kleinere Deformationen, welche sich gegen die oberen Theile immer mehr verspäten, so dass, wenn man zum unendlich Kleinen schreitet, im Aequatorschnitt der Erde die aufeinander folgenden Scheitel der Maximalerhebungen den Ort einer Spirale bilden, welche sich nach Osten zu einrollt. Beobachtet man in einer Tiefe s , so ist die dazugehörige Verspätung gleich demjenigen von der Sonne ab zu zählenden Azimut, in welchem der Radius vector der Spirale gleich $R - s$ wird, wenn R den Erdradius bedeutet. Die gesammte Aufwölbung hat daher eine stärkere Ausbildung auf ihrer

Ostseite, und hierdurch modifiziren sich auch die Zahlen der Tab. IV um ein Geringes.

Interessant sind bezüglich des lokalen Faktors die Untersuchungen von J. Milne, welcher für Tokio den Unterschied der Feuchtigkeit des Erdbodens zu beiden Seiten des Aufstellungsortes des Apparates als Ursache für die tägliche Periode annimmt¹⁾. Hier liegt offenbar eine lokale Eigenthümlichkeit vor, welche für Strassburg nicht gilt, da hier in der Nähe des Instrumentes solche Differenzen ausgeschlossen, vor allem die Bedingungen ihrer Fortpflanzung in die Tiefe nicht erfüllt sind.

Als wesentliches Resultat der ganzen Untersuchung aber erscheint aus der konstatirten Uebereinstimmung der theoretischen Ergebnisse mit dem Gange der Beobachtungen die Erhärtung jener ersten Voraussetzung zu folgen, dass, wenn die Installationswirkungen ohne Einfluss sind, die maximale Niveauerhebung als Scheitel einer ellipsoidischen Deformationshaube nach einer Seite hin der Sonne durch elastische Verzögerung um $19^h,5$ nachfolgt.

Eine Abweichung von normalen theoretischen Verhältnissen wird in hohem Grade durch verschieden klaren Himmel bedingt. Die vorigen Untersuchungen galten für immer gleiche Dauer des Sonnenscheins. Die Amplitude schwindet naturgemäss mit wachsender Bewölkungsziffer oder abnehmender Temperaturoscillation. Daraus erklärt sich nun leicht die Herausbildung des Aprilmaximums, in welcher Zeit auch ϑ seinen grössten Werth erreicht. Vergleicht man in Fig. 1 (pag. 20) den Verlauf der von H und ϑ abhängigen Amplitude A mit diesen Grössen, und sodann mit der für konstante ϑ und H geltenden Theorie (schwarze dünne Kurve), so ergibt sich die anormale Abnahme von A im Oktober als die Folge einer solchen von H und ϑ ; die Verfrühung des Minimums im Juni entsteht durch die grossen Werthe von H und ϑ Anfangs Juli und die kleinen Beträge zu Ende Mai. So resultirt, abgesehen von den Wirkungen der Installation, die tägliche Periode endlich als Produkt der Wechselwirkung normaler theoretischer und meteorologischer Elemente. — Fassen wir nun alles zusammen, so haben wir folgende Sätze:

1. Die tägliche Periode wird zum Theil durch die Sonnenwärme erzeugt, welche die ihr zugewendete Erdhälfte ellipsoidisch auftreibt.

¹⁾ John Milne, 14. u. 15. report on the earthquake and volcanic phenomena of Japan. British association for the advancement of Science. 1895.

2. In verschiedenen Tiefen verspätet sich die Erscheinung in vorerst noch unberechenbarem Grade durch elastische Verzögerung.

3. Durch Ausdehnung der tieferen Schichten in späteren Stunden entsteht eine Asymmetrie bezüglich der Ebene, in welcher der Scheitelpunkt der Deformation und die Erdpole liegen; darauf beruht die Verspätung der östlichen Elongation.

4. Die Annahme 1. allein erfordert für m und v jährliche Perioden, welche sich je nach der Breite bedeutend unterscheiden.

5. Die Verspätung von m und v im nördlichen Winter, die Verfrühung im Sommer rührt von der verschieden schnell entstehenden Aufwölbung der Erdoberfläche durch ungleiche Wärmemengen her; dagegen ist ein Theil der Verfrühung von v schon ein Erforderniss der Theorie allein.

Der Erfolg der Beobachtungen in dieser Richtung an Orten ohne grossen lokalen Faktor wird also die Erkenntniss derjenigen Verspätung sein, welche die Aufwölbung in einer bekannten Tiefe erfährt.

2. Lothschwankungen unter dem Einflusse der Anziehung des Mondes.

a) Nach dem Schema der „harmonischen Analyse“.

Es sei nochmals bemerkt, dass die hier angewendeten Rechnungsmethoden von den v. Rebeur'schen prinzipiell nicht abweichen, und es ist daher nicht nothwendig, auf das System der bei Gezeitenbeobachtungen angewendeten harmonischen Analyse näher einzugehen. Die ausführliche Darlegung findet sich in dem Boergen'schen Aufsatze, Ann. d. Hydrographie 1884. — Die Beobachtungen wurden demnach, mit Rücksicht auf das Voreilen der Sonnenzeit gegen Mondzeit, nach Mondstunden geordnet und in Gruppen zu je 28 bis 29 Mondtagen gesondert, an deren Ende durch Interferenz des Mond- und Sonnentages der Phasenunterschied einen ganzen Sonnentag beträgt. Ist die tägliche Periode der solaren Bewegung konstant, so bleibt in den Endsummen, abgesehen von einem allgemeinen Gange der Gleichgewichtslage, der Einfluss des Mondes rein zurück. Jene

Periode ist aber, wie wir sahen, einer jährlichen Schwankung unterworfen, und es war daher von vornherein klar, dass sich die Rechnung, da sich die Beobachtungen nicht auf ein volles Jahr erstrecken, für jetzt allein auf das halbtägige Glied der Mondwelle beschränken musste, weil dasjenige der Sonnenwelle im Jahre nur wenig variabel ist. Nach Abschluss der Beobachtungen wird auch das ganztägige Glied in die Diskussion gezogen werden. Ferner ist der Nullpunkts-gang, wie weiter unten genauer betrachtet wird, zuweilen sehr gross und keineswegs der Form einer Kurve zweiter Ordnung entsprechend. Die Beobachtungen solcher Tage wurden meist durch Mittelbildung aus der vorhergehenden und folgenden Horizontalreihe ersetzt, während, wenn die Abnormität mehrere Tage nacheinander umfasste, durch Interpolation mit Annahme eines Ganges von der Form einer Geraden Abhilfe geschaffen wurde.

Die Beobachtungen vom 16. April 0^h bis zum 9. Nov. 23^h zerfallen somit in sieben Monatsgruppen. Die stündlichen Summen derselben wurden nach der Elimination des Nullpunktes durch Vereinigung von 0^h mit 12^h, 1^h mit 13^h etc. von der ganztägigen Periode befreit und sodann auf die Form $\alpha_2 \cos 2t + \beta_2 \sin 2t$ oder $m_2 \cos (2t - M_2)$ gebracht. Alle 7 Gruppen zusammengenommen ergeben folgende halbtägige Mondwelle, unter Berücksichtigung der verschiedenen Reduktionskonstanten:

0 ^h — 0'',00448	6 ^h + 0'',00392
1 ^h — 0,00432	7 ^h + 0,00399
2 ^h — 0,00322	8 ^h + 0,00327
3 ^h — 0,00106	9 ^h + 0,00149
4 ^h + 0,00181	10 ^h — 0,00008
5 ^h + 0,00378	11 ^h — 0,00271

wobei sich 0^h auf April 16. 0^h mittlere Ortszeit bezieht, und, wie früher, eine südliche Abweichung positiv genannt ist. Diesen Zahlen entspricht sehr nahe der Ausdruck

$$- 0'',00424 \cos 2t - 0'',00124 \sin 2t, \text{ oder } 0'',00442 \cos (2t - 196^\circ 18'),$$

wobei der wahrscheinliche Fehler des Koeffizienten $\pm 0'',00009$ beträgt. Um das Argument des cosinus auf die obere mittlere Kulmination des Mondes zu reduzieren, ist zu dem Phasenwinkel, wie sich aus den Ephemeriden ergibt, $174^\circ 29'$ zu addiren. Es ist also die halbtägige Mondwelle nach der ersten Methode:

$$0'',00442 \cos (2t - 10^\circ 45').$$

v. Rebeur erhielt auf demselben Wege für das Jahr 1892—93:

$$0'',00502 \cos (2t - 187,5^\circ),$$

doch wird erst das Jahresmittel mit diesem letzteren Werthe direkt vergleichbar sein, da über die jährliche Variation dieser Welle noch nichts bekannt ist. Die v. Rebeur'sche Phase unterscheidet sich gegen die neu berechnete um 180° , weil, wie erwähnt die Vorzeichen umgekehrt sind.

b) Aus den monatlichen Veränderungen der solaren Periode.

Wir stellen nunmehr die Tage so zusammen, dass sie um einen synodischen Monat auseinander liegen, d. h. wir ordnen sie in Gruppen, für welche der Stundenwinkel des Mondes im mittleren Mittage C bis auf $0^h,5$ genau der gleiche ist. Berechnen wir dann für jede der Gruppen, deren Anzahl 24 ist, die harmonischen Koeffizienten a_1 b_1 a_2 b_2 der Sonnenwelle, so zeigt sich in denselben ein gewisser, gesetzmässiger Gang. Wären keine Unregelmässigkeiten im Nullpunktsgange vorhanden, und wäre die jährliche Periode der Koeffizienten gleich Null, so würde der übrig bleibende Gang ein Ausdruck nur des Mondeinflusses sein. Es wird sich später Gelegenheit finden, durch eine geometrische Betrachtung diesen Einfluss und die Art seiner Wirkung deutlich zur Anschauung zu bringen. Da es sich, wie bemerkt, vorerst um die Berechnung des halbtägigen Mondgliedes handelt, so werden wir mit Rücksicht auf die geringere jährliche Schwankung der a_2 b_2 , um so weniger auf den Einfluss dieser halbjährigen Periode einzugehen haben, als selbst bei dem stärker betroffenen ganztägigen Gliede v. Rebeur nachgewiesen hat, dass die resultirende Veränderung nur etwa 3% betrage. Auf den Einfluss der jährlichen Phasenänderung brauchen wir, obgleich die Beobachtungen nicht ein volles Jahr umfassen, erst recht keine Rücksicht zu nehmen, da es sich hier selbst bei dem eintägigen Gliede um verschwindende Beträge handelt (l. c. pag. 315—317).

Nachdem die Beobachtungen, welche die Zeit vom 1. April bis 17. November umfassen¹⁾, umgeschrieben und summirt waren, wurden, um Unregelmässigkeiten des Nullpunktganges weiter auszugleichen,

1) Die Methoden umfassen nicht die gleichen Zeiträume, weil naturgemäss auf die Gruppeneintheilung in den verschiedenen Methoden Rücksicht genommen werden musste.

Tabelle

C	0h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0— 5	— 1,470	— 0,576	— 0,472	— 1,923	— 3,485	— 5,021	— 5,459	— 4,588	— 4,295	— 3,849	— 3,480
1— 6	— 0630	— 0141	— 1233	— 2661	— 4142	— 5756	— 6124	— 5325	— 5055	— 4463	— 4099
2— 7	— 0592	— 0152	— 1175	— 2596	— 4027	— 5565	— 5974	— 5160	— 4815	— 4189	— 3872
3— 8	— 1486	— 0694	— 0648	— 2270	— 3851	— 5353	— 5605	— 4869	— 4337	— 3441	— 3041
4— 9	— 2272	— 1508	— 0232	— 1635	— 3102	— 4771	— 5061	— 4324	— 3662	— 2736	— 2358
5—10	— 2500	— 1598	— 0246	— 1865	— 3525	— 5195	— 5415	— 5055	— 3859	— 2879	— 2394
6—11	— 2645	— 1650	— 0049	— 1911	— 3603	— 5503	— 5496	— 4669	— 3810	— 2783	— 2288
7—12	— 3214	— 2175	— 0407	— 1550	— 3715	— 5859	— 5902	— 5095	— 4251	— 3531	— 2926
8—13	— 3161	— 2179	— 0549	— 1459	— 3700	— 5789	— 5752	— 4924	— 4191	— 3494	— 2864
9—14	— 2851	— 1805	— 0229	— 1716	— 3867	— 5967	— 5812	— 5025	— 4312	— 3721	— 3071
10—15	— 2127	— 1155	— 0459	— 1966	— 4198	— 5943	— 5744	— 4906	— 4123	— 3634	— 2898
11—16	— 1789	— 0784	— 0480	— 2161	— 4230	— 5907	— 5804	— 4977	— 4250	— 3849	— 3057
12—17	— 1477	— 0524	— 0639	— 2363	— 4283	— 6013	— 5998	— 5276	— 4570	— 4214	— 3286
13—18	— 0085	— 0812	— 1819	— 3616	— 5297	— 6839	— 6924	— 6141	— 5464	— 4975	— 4094
14—19	— 1188	— 0360	— 0532	— 2049	— 4037	— 5999	— 6244	— 5553	— 4736	— 4202	— 3300
15—20	— 1653	— 0812	— 0129	— 0811	— 3637	— 5534	— 6126	— 5470	— 4640	— 4088	— 3255
16—21	— 1488	— 0803	— 0165	— 1763	— 3353	— 5054	— 5527	— 5074	— 4305	— 3844	— 3131
17—22	— 1808	— 1038	— 0112	— 1730	— 3399	— 5215	— 5741	— 5249	— 4559	— 3885	— 3076
18—23	— 0976	— 0040	— 0965	— 2412	— 4179	— 5965	— 6483	— 6081	— 5280	— 4578	— 3949
19— 0	— 1827	— 0728	— 0249	— 1671	— 3317	— 4981	— 5436	— 5010	— 4108	— 3462	— 2891
20— 1	— 0534	— 0657	— 1910	— 3534	— 4794	— 6129	— 6431	— 5729	— 5097	— 4475	— 4076
21— 2	— 0946	— 0153	— 0898	— 2266	— 3692	— 5168	— 5542	— 4813	— 4202	— 4789	— 3446
22— 3	— 1452	— 0129	— 1003	— 2385	— 4021	— 5826	— 6176	— 5365	— 4745	— 4237	— 3810
23— 4	— 1389	— 0333	— 0699	— 1899	— 3443	— 5212	— 5496	— 4645	— 4295	— 3714	— 3473

V.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23 ^h
+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,607	1,771	0,712	0,541	1,927	2,386	4,697	5,267	5,415	5,189	3,992	3,092	2,108
+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3313	2323	1445	0383	0761	1927	3154	3688	3708	3495	2529	1717	0851
+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3103	2173	1372	0429	0445	1610	2866	3515	3543	3204	2435	1598	0792
+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2498	1610	0739	0053	0807	1689	2709	3465	3583	3240	2926	2384	1650
+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1945	1233	0546	0124	0957	1852	3123	3791	3958	3763	3668	3342	2794
+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1915	1221	0692	0011	0869	1851	3189	4217	4405	4213	4052	3712	3043
+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1825	1153	0652	0083	0744	1829	3266	4323	4503	4373	4185	3722	2941
2456	1990	1258	0351	0781	1969	3544	4659	4705	4822	4761	4331	3503
2430	1982	1240	0314	0005	2208	3614	4585	4720	4727	4671	4187	3475
2655	2187	1233	0051	1230	1679	4124	5021	5173	5196	4803	3171	3349
2446	1928	0914	0336	1673	3056	4364	5161	5092	5010	4513	3743	2921
2504	1958	0761	0559	2100	3413	4628	5495	5294	5175	4456	3607	2627
2556	1744	0362	0972	2598	3804	4964	5731	5423	5255	4441	3516	2491
3140	2134	0836	0305	0848	3033	4092	4729	4613	4076	3165	2084	1063
2472	1348	0038	1090	2574	3785	4922	5745	5667	5223	4338	3348	2316
2340	1212	0233	0778	2070	3154	4322	5128	5009	4739	4095	3318	2395
2194	1156	0305	0530	1605	2614	3857	4618	4627	4283	3769	3113	2466
2262	1194	0280	0549	1541	2659	4143	4927	5082	4496	4072	3528	2846
3299	2719	1731	0922	0036	1293	2881	3747	4003	3488	3243	2738	2012
2395	1695	0959	0110	0864	2344	3968	4895	5279	4885	4389	3926	3137
3217	3529	1734	0779	0343	1765	3447	4253	4432	4146	3394	2891	1896
2440	1882	0912	0169	1522	3157	4994	5804	5944	5506	4430	3711	2604
2705	1801	0688	0513	2033	3791	5658	6486	6639	6213	4663	3803	2384
2602	1740	0717	0286	1789	3393	4846	5424	5547	5405	4249	3185	2035

immer 6 der aufeinander folgenden 24 C-Gruppen, 0—5, 1—6 etc. mit einander vereinigt. Sodann konnte sich die Elimination des Nullpunktes auf das Glied γt^2 beschränken. Die Abweichungen von den jedesmaligen Mittelwerthen sind in Tabelle V, da es sich nur um die Unterschiede handelt, noch in cm angegeben. Diese Zahlen stellen also die tägliche Sonnenwelle dar, gültig für $C = 2^h,5 \ 3^h,5$ etc.

Sodann wurden für alle 24 C die harmonischen Koeffizienten $a_1 \ b_1 \ a_2 \ b_2$ berechnet, diese durch die Zahl der in einer Gruppe vereinigten Tage, im Mittel 48, dividirt, und endlich mit den zugehörigen, zu berechnenden Reduktionskonstanten multipliziert. Der Vergrößerungsfaktor 1,571, mit welchem zuletzt die Koeffizienten noch erweitert wurden, tritt hinzu, weil durch die Mittelbildung über die Hälfte der Periode die Amplitude verringert wurde. v. Rebeur hat dieses (l. c. pag. 272) näher erläutert. Die $a_1 \ b_1$ wurden schon jetzt im Hinblick auf die folgende Untersuchung mitberechnet, obschon dieselben für die Ermittlung der halbtägigen Mondwelle nicht erforderlich sind. Tabelle VI enthält die Koeffizienten in Bogensekunden. Die vier letzten Kolumnen sind durch Zusammenziehung der $a_1 \ b_1$ und $a_2 \ b_2$ bezw. von 0 mit 6, 1—7, etc. und 0 mit 12, 1—13 etc. erhalten. Dies geschah, um vorkommende Sprünge auszugleichen. Die Summen gelten dann natürlich für die in der Mitte liegenden C, also bezw. für $3^h,5$, $4,5$ und $6^h,5$, $7,5$.

Die Koeffizienten a_2 und b_2 werden dargestellt durch

$$\begin{aligned} a_2 &= -0'',004177 - 0'',003935 \cos 2 C - 0'',003192 \sin 2 C \\ b_2 &= +0'',005028 - 0'',001586 \cos 2 C + 0'',004047 \sin 2 C. \end{aligned}$$

Setzen wir diese Zahlen in die von v. Rebeur aufgestellten Formeln ein, so erhalten wir, wenn wir die jährliche Periode nach obigem vernachlässigen, dagegen auf den Unterschied zwischen Sonnen- und Mondzeit Rücksicht nehmen (also durch Vergleichung der cos- und sin-Koeffizienten in der Formel l. c. pag. 311 unten, indem wir $\mu_2 = 0$ setzen):

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= +0'',00473 \\ \beta_2 &= +0'',00068 \end{aligned}$$

und somit

$$0'',00477 \cos (2 t - 8^\circ 12').$$

v. Rebeur erhielt nach dieser Methode:

$$0'',00507 \cos (2 t - 198^\circ 2).$$

Tabelle VI.

C	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂	a' ₁	b' ₁	C	a' ₂	C	b' ₂
0,5	— 0",03126	+ 0",10850	+ 0",00557	+ 0",00572	— 0",03002	+ 0",08251	0,5; 12,5—0",00806	0,5; 12,5+0",00348		
1	2841	09017	382	359	2804	8428	1	1021	1	13
2	2887	8623	044	364	2772	8457	2	815	2	14
3	2515	7891	—	012	3026	8822	3	782	3	15
4	2386	7422	—	232	3002	8230	4	519	4	16
5	2465	7156	—	334	3000	8064	5	112	5	17
6	2926	6784	—	598	3367	8076	6	081	6	18
7	3163	7444	—	826	3310	7739	7	110	7	19
8	3112	7496	—	1058	3186	7839	8	055	8	20
9	4220	8262	—	961	2891	7865	9	109	9	21
10	4234	8056	—	987	3005	8265	10	209	10	22
11	3907	8523	—	813	2812	8448	11,5; 23,5	611	11,5; 23,5	
12	2857	8946	—	594	3050	8611				
13	2848	9087	—	442	3224	8463				
14	2511	9400	—	192	3271	8340				
15	1881	8960	—	242	2696	8281				
16	2214	8869	—	072	2885	8616				
17	2635	8158	—	162	2959	8734				
18	2525	7616	—	098	2715	8786				
19	2913	8146	—	201	2718	9151				
20	3407	8068	—	505	2856	8958				
21	3550	8612	—	913	2825	9238				
22	3223	9434	—	1069	2877	8581				
23,5	3078	9759	—	812	3147	8345				

— 49 —

Dass die Veränderungen der a_1 b_1 a_2 b_2 der Grösse der Mondanziehung im Allgemeinen proportional sein werden, liegt auf der Hand. Um aber den Vorgang selber klarer zu durchschauen, wird es nützlich sein, die Verhältnisse durch eine geometrische Betrachtung auseinanderzusetzen.

Wir betrachten (Fig. 13) den Aequatorialschnitt der Erde vom

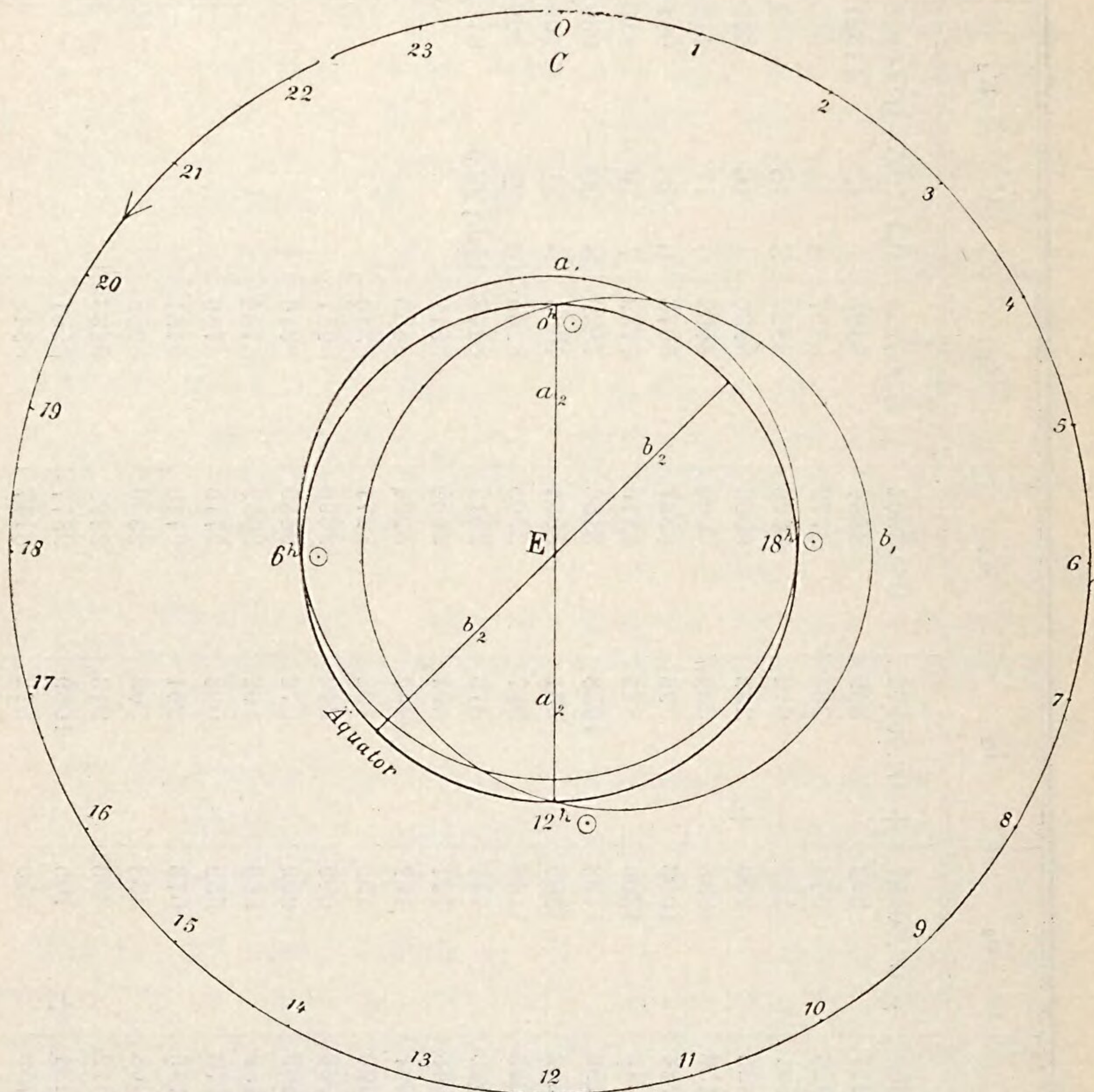


Fig. 13.

Nordpole aus, und tragen auf dem Aequator als Abscisse im Sinne des Stundenlaufes, also entgegengesetzt dem des Uhrzeigers, die Partialwellen $a_1 \sin t$, $b_1 \cos t$, $a_2 \sin 2t$, $b_2 \cos 2t$ auf. Dabei entspricht dem Maximum der Nordablenkung eine Zunahme des Erdradius, wie dies ja auch mit der früheren Diskussion über die Deformation übereinstimmt. Der Maassstab ist dagegen beliebig vergrössert, da es sich hier nicht um die Koeffizienten m_1 m_2 , oder um die Phasen M_1 M_2 handelt. Bei den als Ellipsen darzustellenden halbtägigen

Partialwellen sind der Uebersichtlichkeit wegen nur die grossen Achsen angegeben. Dabei muss beachtet werden, dass ein negatives Vorzeichen der nördlichen Ablenkung entspricht, und die Koeffizienten selbst verschiedene Vorzeichen haben. So konnten a_1 und a_2 ihre normalen positiven Lagen behalten, weil sie negativ sind; die positiven b_1 und b_2 dagegen mussten bezw. um 180° und 90° verschoben werden. Der zur Erde konzentrische grössere Kreis mit den eingetragenen C stellte die Bahn des Mondes in Bezug auf die Erde dar. — Für diese theoretische Betrachtung nehmen wir den v. Rebeur'schen mittleren Werth der Mondwelle an, weil unser Material für die Bestimmung der ganztägigen Periode noch nicht ausreicht. Dementsprechend findet 18^h nach der oberen Kulmination des Mondes das Maximum der Nordablenkung durch denselben statt. In welcher Weise dies zu Stande kommt, wird am Schluss der dritten Methode behandelt werden. Diese Welle dreht sich nun, dem Monde 18^h nachfolgend, in einem synodischen Monat um die Sonnenwelle her, und es ist klar, dass diese Interferenz Maxima und Minima bei der solaren Periode erzeugen wird. Das halbtägige Mondglied wird nur auf das halbtägige der Sonnenwelle wirken, und bei ihm zwei Maxima und zwei Minima verursachen, das ganztägige Mondglied ruft ein Maximum und ein Minimum in dem betreffenden Sonnenglied hervor. Betrachten wir zuerst das halbtägige Glied, welches ebenfalls 18^h bzw. 6^h später als der Mond erscheint. Ist $C = 18$, also erstes Viertel, so liegt das Maximum der Nordablenkung erst bei $C = 0$ und verstärkt also das Glied a_2 am meisten, d. h. für $C = 18$ hat a_2 den nördlichsten Werth, in unserer Bezeichnung daher, da a_2 negativ ist, den grössten absoluten Betrag; das gleiche gilt natürlich für $C = 6$. Für $C = 0$ und 12 tritt die grösste Verkleinerung bei a_2 ein. Die Extreme von b_2 erhält man, wenn man zu den betreffenden C des a_2 -Gliedes 3^h addirt, doch ist zu beachten, dass hier der kleinste absolute Betrag den nördlichsten Werth darstellt, da das Glied positiv ist. Analoges gilt für die a_1 b_1 -Glieder, wenn man berücksichtigt, dass die Nordlage des eintägigen Mondgliedes dem Monde um $16^h,7$ nachfolgt.

Man kann sich diese Interferenz an obiger Figur 13 durch folgendes kleine Hilfsmittel noch weiter verdeutlichen: Man zeichnet sich auf einen Ausschnitt obenstehende Figur 13a auf, welche die Stellung des Mondes MO zu der Lage des Nordmaximums der

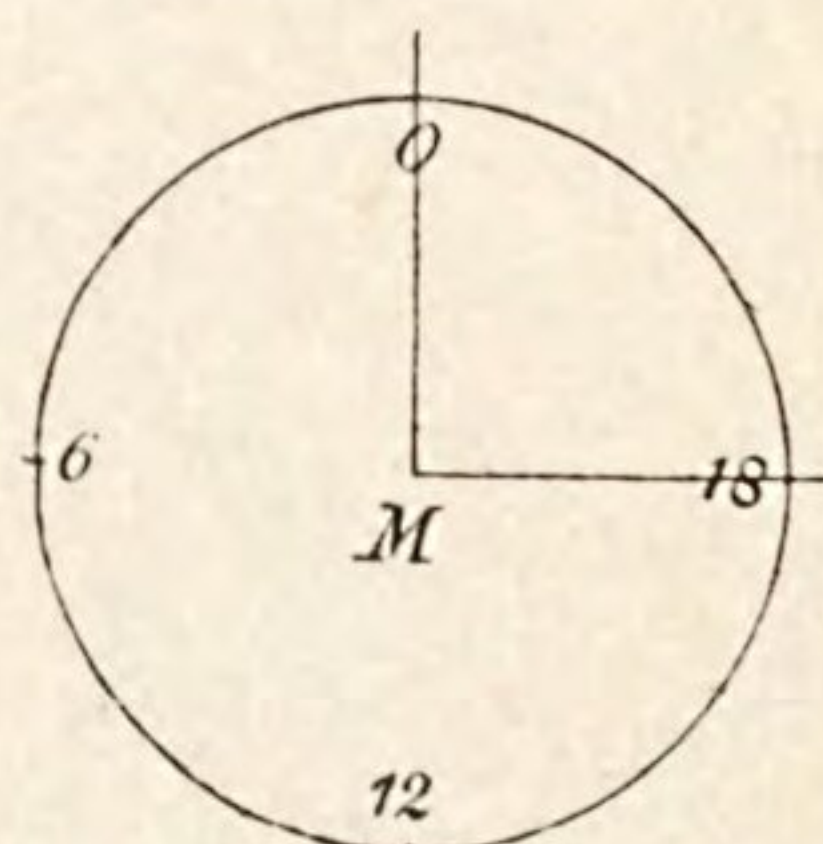


Fig. 13a.

Mondwelle M 18 als Radien eines Stundenkreises ergibt. Dann befestigt man etwa mit einer Nadel das Centrum M auf die Figur 13 in E, so dass der Ausschnitt zu Figur 13 konzentrisch drehbar ist. Will man nun erfahren, bei welchem C irgend ein

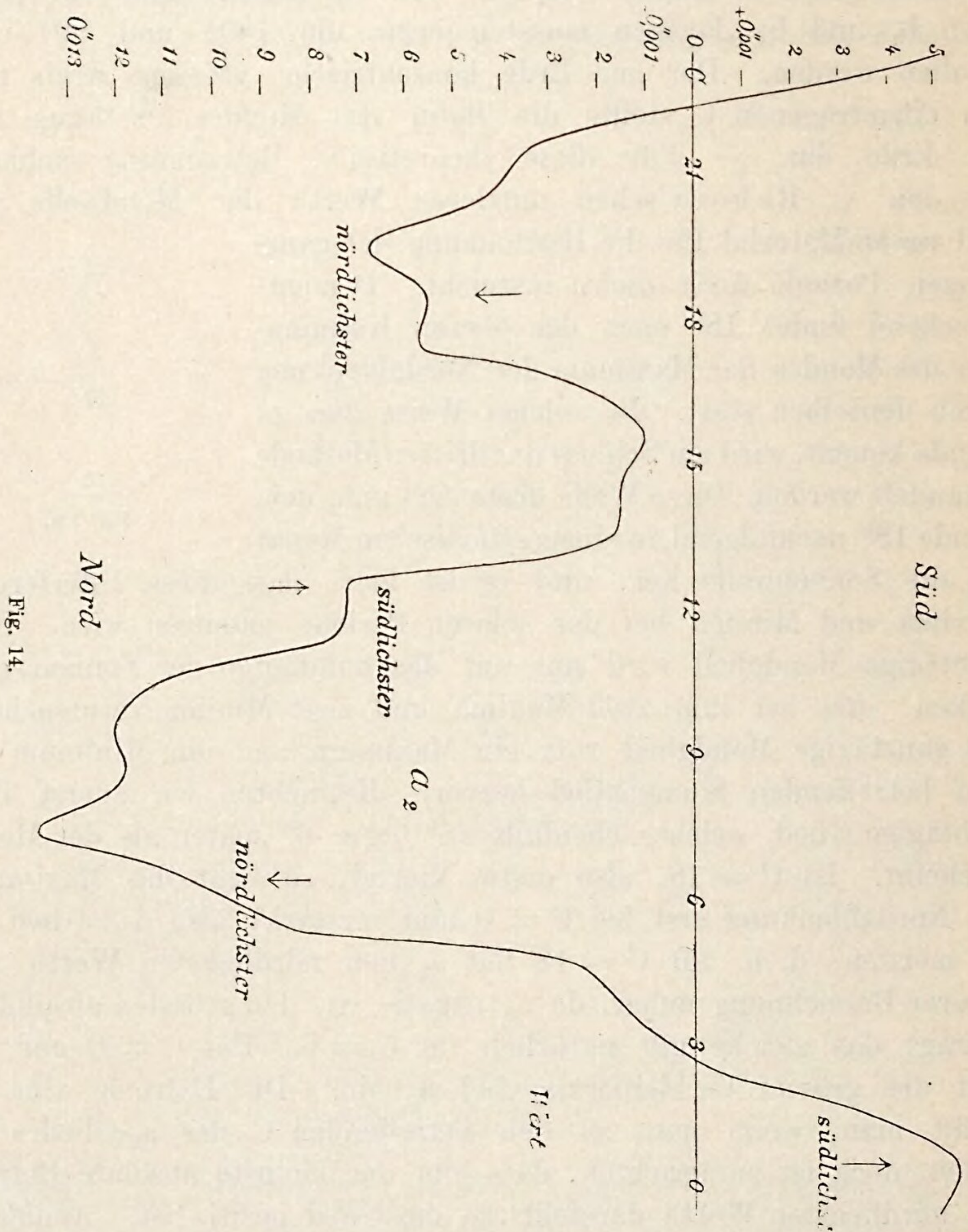


Fig. 14.

Glied seinen nördlichsten Werth hat, so bringt man M 18 auf den Scheitel der betreffenden Welle und erhält durch Verlängerung von M 0 über 0 hinaus das verlangte C auf dem äussersten Kreise. Eine Drehung um 12^h bei a_1 b_1 , um 6^h bei a_2 b_2 , giebt das C des südlichsten Werthes. Genauer müsste man natürlich auf dem Aus-

schnitte die beiden partialen Mondwellen selbst auftragen und ihre Scheitel markiren.

Die Beobachtungen rechtfertigen diese ganze Anschauung. Vor allem giebt der Gang von a_2 und b_2 einstweilen den besten Belag dafür. Für b_2 ist die zusammengezogene Reihe b'_2 der Tabelle VI die geeignetere, bei a_2 kann man auch die Reihe a_2 selbst benützen. In Fig. 14. und 15. folgen zur Uebersicht a_2 und b'_2 graphisch. Die a_1 b_1 , welche hier theils der Vollständigkeit wegen, theils auch zum Versuche in Tabelle VI mit angeführt sind, zeigen, da die jährliche Periode zu bedeutend und die Nullpunktselimitation naturgemäss zu unsicher ist, nun noch

keine Uebereinstimmung mit der Theorie; es ist aber sicher, dass sich dieselbe nach Verlauf eines vollen Jahres aufweisen wird. Um dies zu zeigen, folgen hier noch in Figur 16 die v. Rebeur'schen Werthe von a_1 b_1 (l. c. pag. 307, Tabelle XI). Hier findet sich, wie man sieht, eine vollständig befriedigende Uebereinstimmung. Die

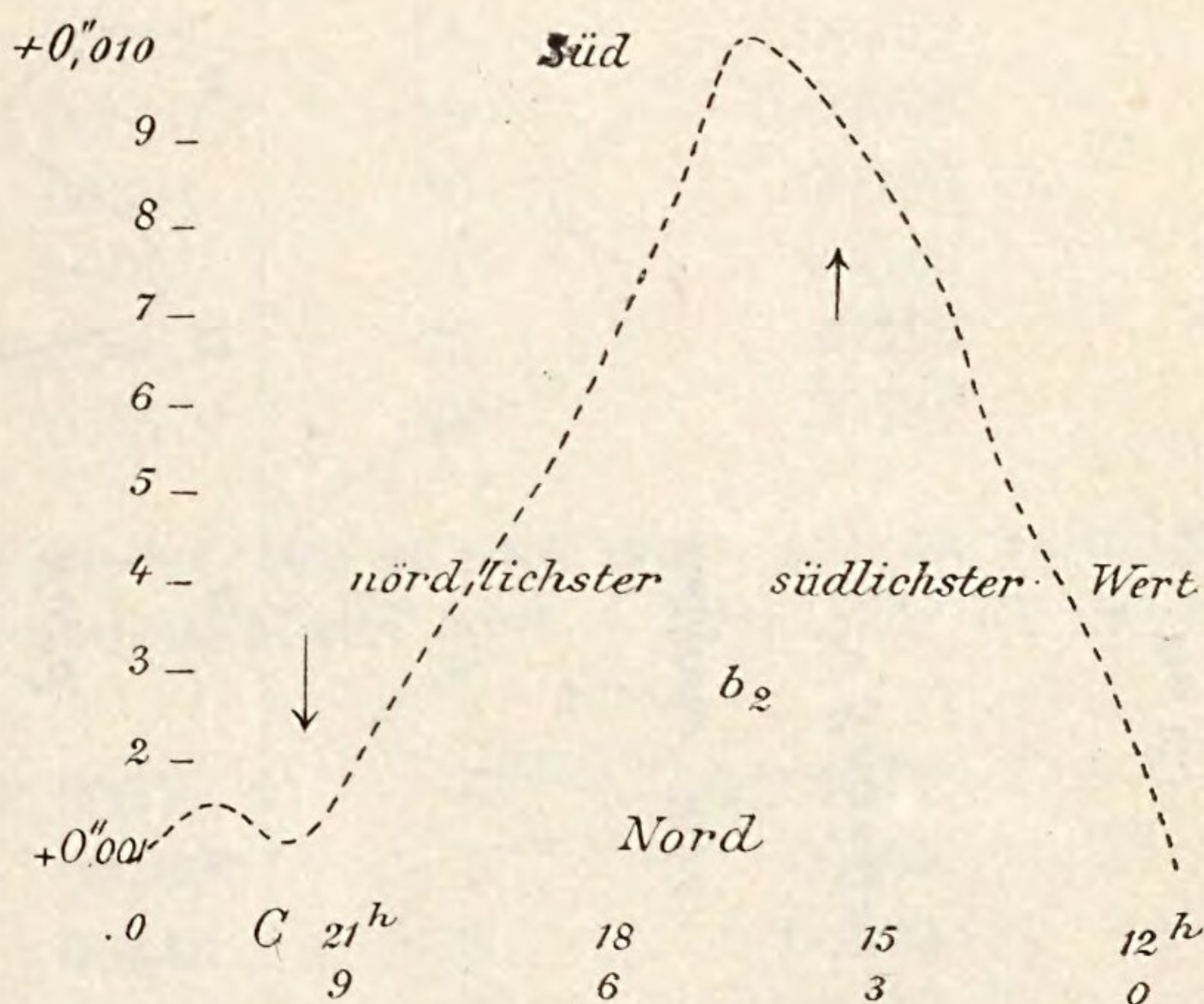


Fig. 15.

Pfeile bestimmen die C, für welche der Theorie nach die nördlichsten oder südlichsten Werthe erreicht werden müssten.

3. Durch Verschieben und Aufeinanderdecken.

Um die Mondwelle für verschiedene Werthe der Deklination des Mondes zu erhalten, ist natürlich die harmonische Analyse, welche in einer fortlaufenden Eintragung unter Berücksichtigung des Vor-eilens der Sonnen- gegen die Mondzeit bestand, nicht geeignet. Hierzu ist es nach v. Rebeur (l. c. pag. 318—328) nothwendig, die Beobachtungen in Deklinationsgruppen einzutheilen, und innerhalb derselben die Tage ruckweise, ohne jene Rücksicht so zu verschieben, dass die Mondwellen auf einander fallen. Hierbei findet für 0^h die obere Kulmination des Mondes statt. Wie dies am einfachsten

geschieht, hat v. Rebeur bereits ausführlich dargethan. Der Hauptzweck auch seiner Untersuchung war jedoch der, einen neuen Werth für die mittlere, der Aequatorstellung des Mondes entsprechende Mondwelle zu erhalten, da die kurze Beobachtungsreihe nicht aus-

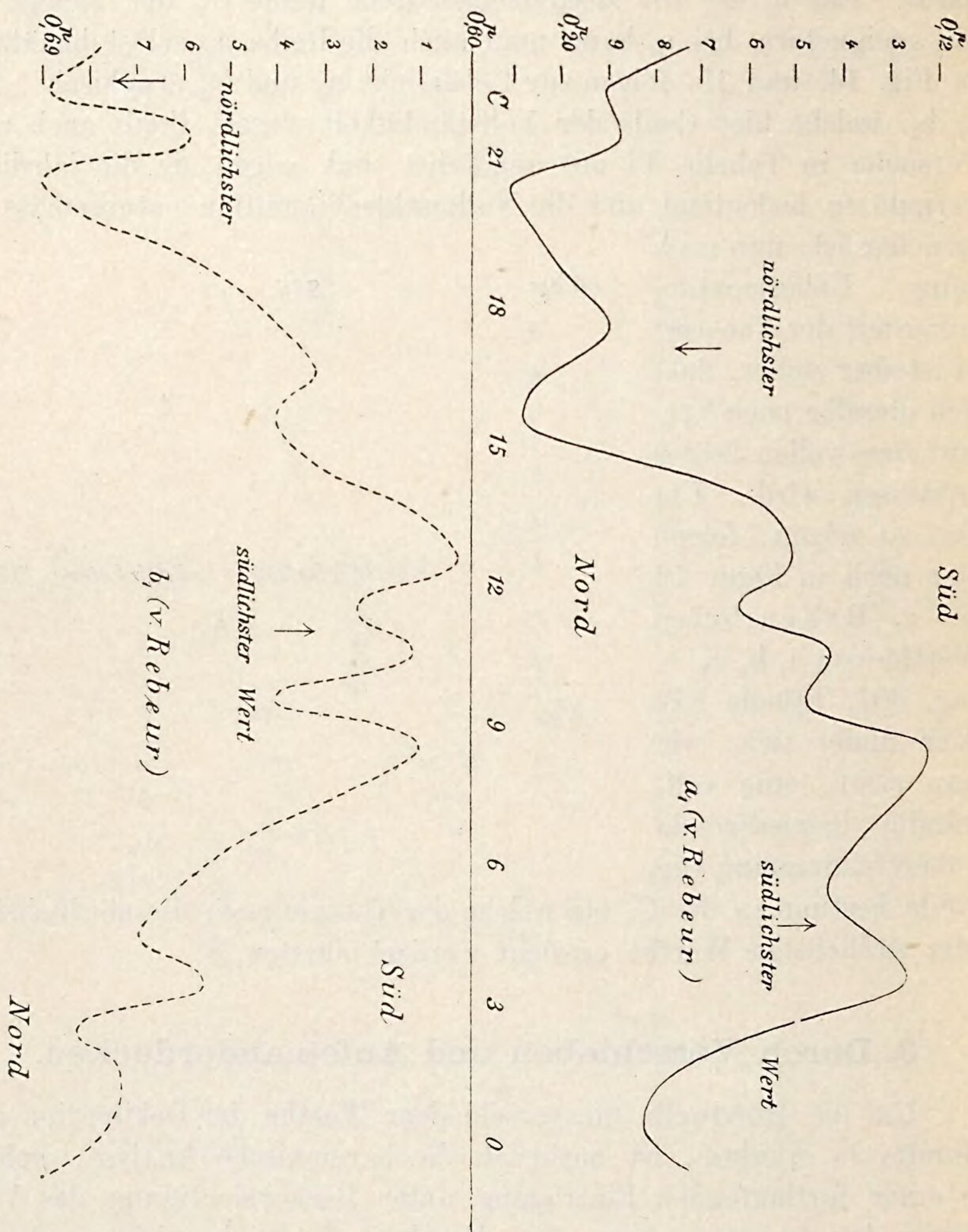


Fig. 16.

reichen konnte, die Veränderlichkeit mit der Deklination nachzuweisen. Da dies jetzt in verstärktem Maasse gilt, so wurde von vornherein auf eine Trennung in Deklinationsgruppen verzichtet, und alle Beobachtungen, entsprechend den Stundenwinkeln des Mondes im mittleren Mittage, von 0^h bis 23^h in 24 Theile zerlegt. Dabei wurden die

drei vorhergehenden und die drei folgenden jedesmaligen Beobachtungen zum Zweck der Elimination des Nullpunktes als Hilfssummen zugleich mit aufgenommen. Die resultirenden, vom Nullpunkt befreiten und mit den betreffenden Reduktionskonstanten multiplizirten 24 Endsummen sind: (— nördlich, + südlich)

0 ^h	— 0'',00746	12 ^h	+ 0'',01508
1	00660	13	01462
2	00517	14	01404
3	00757	15	00969
4	00774	16	00873
5	00619	17	00635
6	00912	18	00159
7	00810	19	— 0,00096
8	00394	20	00493
9	00071	21	00549
10	+ 0,00463	22	00383
11	01075	23	00730

Indem wir uns nun wieder, wie es sein muss, auf die halbtägige Mondwelle beschränken und die Mittel $\frac{1}{2}(0^h + 12^h)$, $\frac{1}{2}(1^h + 13^h)$ etc. bilden, ergibt sich:

0 ^h	+ 0'',00379	6 ^h	— 0'',00377
1	00400	7	00459
2	00443	8	00444
3	00106	9	00310
4	00050	10	+ 0,00041
5	— 0,00039	11	00173

Hieraus folgt

$$\alpha_2 = + 0'',00354$$

$$\beta_2 = + 0'',00253$$

und mit Hinzunahme des Vergrößerungsfaktors $\frac{\pi}{12 \sin \frac{\pi}{12}}$:

$$0'',00440 \cos (2\tau - 35^\circ 33').$$

Der Koeffizient wird etwas grösser, wenn die halbjährige Periode der Sonnenwelle, bezw. ihrer Koeffizienten a_2 b_2 mit in Rechnung gezogen wird. Mit dieser Berücksichtigung erhielt v. Rebeur:

$$0'',00547 \cos (2\tau - 200^\circ, 1),$$

wobei wegen der verschiedenen Vorzeichen die Phase wieder um 180° differirt. — Von der halbjährigen Periode des a_2 b_2 konnte hier, abgesehen von ihrer Kleinheit, deswegen abgesehen werden, weil sich zeigte, dass die hierdurch entstehende Korrektur für negative und positive Deklinationen nahezu gleich und entgegengesetzt war, dass sie im ganzen also beinahe völlig verschwand. Immerhin ist hier der Unterschied beider Resultate nicht unbedeutend.

So ergibt sich also nach allen drei Methoden die halbtägige Mondwelle, wie folgt:

$$\begin{array}{l} \text{I. } 0'',00442 \cos (2\tau - 10^\circ 45') \\ \text{II. } 0'',00477 \cos (2\tau - 8^\circ 12') \\ \text{III. } 0'',00440 \cos (2\tau - 35^\circ 33') \\ \hline \text{Mittel: } 0'',00453 \cos (2\tau - 18^\circ 10'). \end{array}$$

Das v. Rebeur'sche Mittel ist:

$$0'',00522 \cos (2\tau - 195^\circ,5),$$

und es ist kein Zweifel, dass diesem Unterschiede von $0'',0007$ im Koeffizienten einige Realität zukommt; der Unterschied der Phasen ist so gut wie verschwindend. Das Beobachtungsmaterial reicht zwar nicht aus, um den wahrscheinlichen Fehler des Koeffizienten zu bestimmen, aber gerade bei der dritten Methode war die Nullpunktselimitation sehr sicher, da hier schon der Faktor β fast ganz verschwand.

Zum Schlusse dieser Berechnungen wird es gut sein, noch kurz auf das Verhältniss der Deformation der Erde zu der direkten Anziehung des Lothes, soweit beides vom Monde herrührt, einzugehen, wenn auch der Einsicht gefolgt werden muss, dass von einer zahlenmässigen Verwerthung wegen des geringen Umfanges der Beobachtungen noch nicht die Rede sein kann. Es geschieht dies hauptsächlich deswegen, weil die v. Rebeur'schen Bemerkungen hierüber (l. c. pag. 331 f.) offenbar einer Vervollständigung bedürfen.

Die Wirkung der Mondmasse auf das Loth setzt sich aus zwei entgegengesetzt wirkenden, annähernd gleich grossen Theilen zusammen: einmal wird das Pendel direkt derart angezogen, dass zur Zeit der oberen und unteren Kulmination das Maximum der Südblenkung, um 6^h und 18^h Mondzeit die grösste Nordablenkung eintritt, was aus dem von Helmert (Theorien der höh. Geodäsie II pag. 384) und von v. Rebeur aufgestellten Ausdrücke

$$+ 0'',00798 \cos (2\tau - 180^\circ)$$

direkt folgt; dagegen verschwindet das eintägige Glied der Anziehung, Ferner deformirt der Mond den Erdkörper in der Weise ellipsoidisch, dass die grosse Achse stets in der Verbindungslinie der Schwerpunkte beider Körper liegt. Fände nun keine Verspätung dieser elastischen Bewegung mit zunehmender Tiefe unter der Erdoberfläche statt, so müsste die grösste nördliche Elongation des Lothes zur Zeit der oberen, und eine zweite kleinere bei der unteren Kulmination eintreten. Hier finden wir eine ganz- und eine halbtägige Periode, wie dies auch bei den Gezeiten des Meeres der Fall ist, wo jedoch wegen der leichteren Beweglichkeit des Wassers das ganztägige Mondglied sehr zurücktritt.

Eine andere Einwirkung ist ausgeschlossen, und es folgt hieraus, dass in derjenigen Bewegung, welche aus der Differenz der beobachteten Welle minus der theoretischen Anziehung erhalten wird, der Einfluss der Deformation allein zurückbleibt. Vor allem gilt dies für das ganztägige Glied der Beobachtung, da dasselbe in der Theorie gleich Null ist. Verfügt man aber erst über eine Anzahl unabhängiger Bestimmungen der Mondwelle, so wird man hierin für diejenige Frage, welche dann allein noch offen ist, sehr werthvolle Zahlen besitzen; für die Frage nämlich, welche Verspätung eine elastische Deformation von bekannter Amplitude erleidet, wenn die Tiefe, in welcher beobachtet wird, und die geologische Grundlage ebenfalls bekannt ist, also dieselbe Frage, welche wir bei der Diskussion der täglichen solaren Periode hätten beantworten können, wenn die Installationswirkungen zu berechnen wären. Um dies an dem Beispiele zu erläutern, ist in folgender Darstellung unter Zugrundelegung des v. Rebeur'schen Werthes der Mondwelle

$$0'',00551 \cos (\tau - 251^{\circ},4) + 0'',00522 \cos (2\tau - 195^{\circ},5)$$

eine Uebersicht dieser Bewegungen gegeben, ohne dass jedoch den Zahlen hierdurch eine weitere Gültigkeit, als für Strassburg allein, zukäme.

Bildet man nämlich die stündlichen Differenzen der Ausdrücke

$$0'',00522 \cos (2\tau - 195^{\circ},5) - 0'',00798 \cos (2\tau - 180^{\circ})$$

so erhält man folgende Reihe, in welcher gemäss der v. Rebeur'schen Bezeichnung nördliche Abweichungen positiv gerechnet sind:

$0^h + 0'',00295$	$6^h - 0'',00295$
1 00186	7 00186
2 00027	8 00027
3 — 0,00139	9 + 0,00139
4 00268	10 00268
5 00325	11 00325

welcher der Ausdruck $+ 0'',00326 \cos (2\tau - 334^\circ,7)$ entspricht.
Die Summe:

$$0'',00551 \cos (\tau - 251^\circ,4) + 0'',00326 \cos (2\tau - 334^\circ,7)$$

stellt daher die durch Deformation entstehende Mondwelle dar. Noch einfacher erhält man dieselbe auch dadurch, dass man von der ganzen beobachteten Bewegung die theoretische Attraktion abzieht. Diese Deformationswelle, wie man sie füglich nennen könnte, drückt sich durch folgende Zahlen aus:

$0^h + 0'',00114$	$9^h - 0'',00101$	$18^h + 0'',00226$
1 — 0,00123	10 + 0,00164	19 00270
2 00390	11 00364	20 00333
3 00633	12 00475	21 00378
4 00809	13 00494	22 00373
5 00875	14 00443	23 00285
6 00815	15 00357	
7 00642	16 00272	
8 00387	17 00224	

Hieraus würde folgen, dass die elastische Gesamtverzögerung in der Kiesschicht bis 5 m Tiefe etwa $12^h,7$ beträgt, während das eintägige Glied dem Monde in $16^h,7$ folgt, und das halbtägige ihm um $0^h,8$ vorausgeht. Die Grösse der Deformation oder die maximale Niveaudifferenz erreicht danach 47 cm. Eine Uebersicht giebt Fig. 17, welche die beobachtete Welle, die theoretische Ablenkung und die Deformationswelle, die Differenz beider, darstellt. Hieraus folgt sofort, dass der lokale Faktor der Installation hier beträchtlich ist; während nämlich der Mond eine elastische Deformation von etwa $0'',014$ Amplitude erzeugt, welche bis auf 5 m Tiefe um 13^h verzögert wird, erschien die Sonnenwelle, von etwa $0'',2$ Amplitude, welche sich naturgemäss schneller fortpflanzen müsste, um mehr als 19^h verspätet. Der Installationseinfluss muss daher als die wirksamste Ursache der täglichen Periode angesehen werden.

Anmerkung: Die Zahlen, welche sich bei der Ermittlung der halbtägigen Deformationswelle bei v. Rebeur l. c. pag. 332 für die Grössen p und ζ finden, sind offenbar entstellt, da eine wiederholte Prüfung für p : $0'',00712$ und für ζ : $347^{\circ},4$ ergab, statt der Werthe

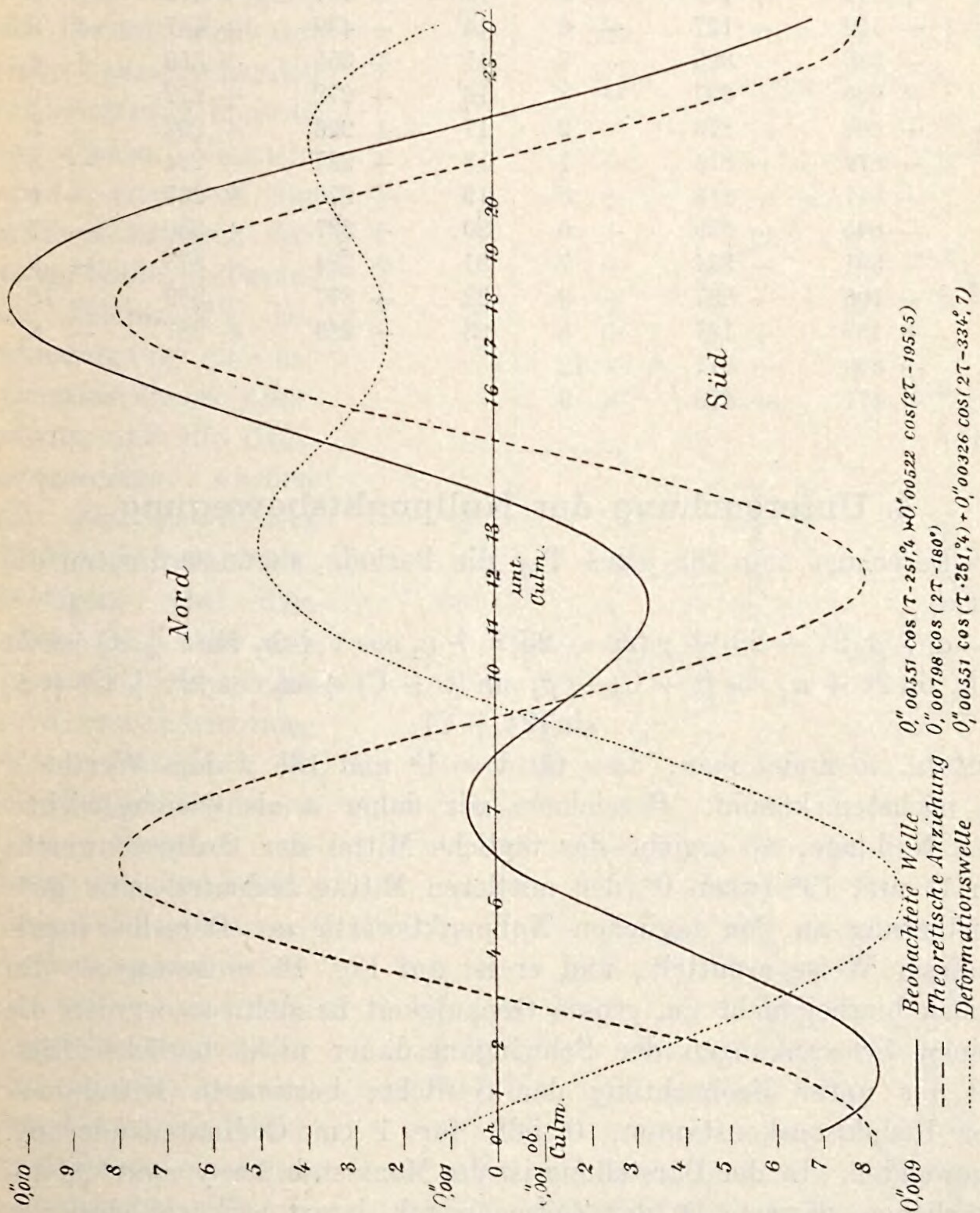


Fig. 17.

$0'',00721$ und $327^{\circ},8$. Zum Beweise folgen hier neben den durch Bildung der stündlichen Differenzen (Beobachtung-Anziehung) resultirenden Zahlen, die stündlichen Summen, aus welchen wie auch aus den obigengeprüften Werthen die Formel $0'',00551 \cos(\tau - 251^{\circ},4) + 0'',00326 \cos(2\tau - 334^{\circ},7)$, folgt, in Einheiten der 5. Decimale. Daraus

geht hervor, dass dieser Ausdruck in der That die Deformationswelle sehr nahe darstellt, dass folglich auch die anderen Werthe für p und ζ richtig sind.

	Ausdruck	Differenz	Unterschied		Ausdruck	Differenz	Unterschied
0 ^h	+ 119	+ 110	— 9	13 ^h	+ 491	+ 499	+ 8
1	— 119	— 127	— 8	14	+ 439	+ 447	+ 8
2	— 386	— 393	— 7	15	+ 355	+ 359	+ 4
3	— 629	— 637	— 8	16	+ 272	+ 272	0
4	— 808	— 810	— 2	17	+ 226	+ 223	— 3
5	— 874	— 875	— 1	18	+ 227	+ 224	— 3
6	— 817	— 814	+ 3	19	+ 273	+ 267	— 6
7	— 645	— 639	+ 6	20	+ 337	+ 330	— 7
8	— 391	— 384	+ 7	21	+ 384	+ 375	— 9
9	— 106	— 097	+ 9	22	+ 377	+ 369	— 12
10	+ 159	+ 167	+ 8	23	+ 289	+ 281	— 8
11	+ 359	+ 371	+ 12				
12	+ 471	+ 480	+ 9				

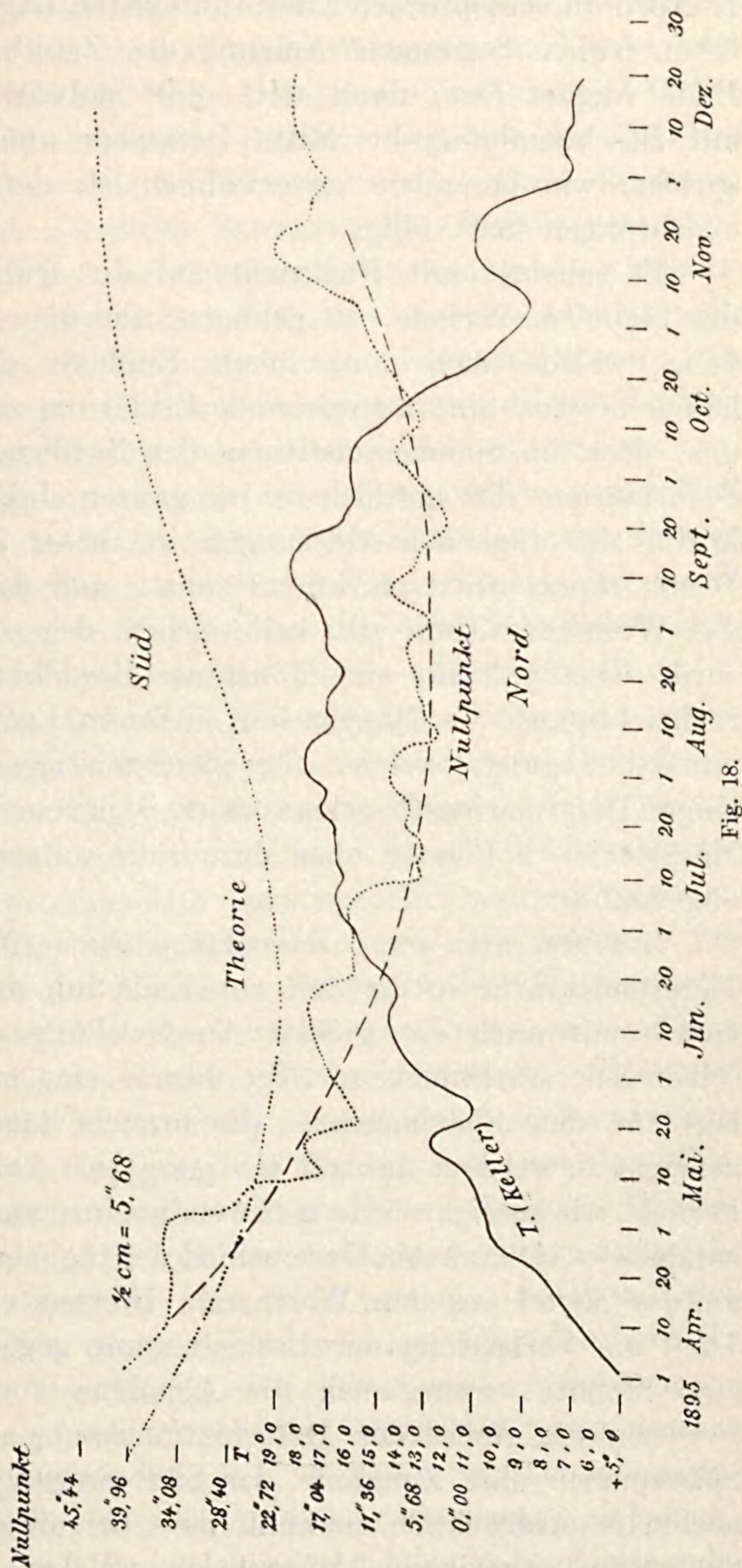
4. Untersuchung der Nullpunktsbewegung.

Berechnet man für jeden Tag die Periode, deren Ordinaten die Form

$$y = \alpha + \beta (2t - 23) + \gamma (2t - 23)^2 + a_1 \cos t + b_1 \sin t + a_2 \cos 2t + b_2 \sin 2t + \alpha_1 \cos (t + C) + \beta_1 \sin (t + C) + \alpha_2 \cos (2t + C) + \beta_2 \sin (2t + C)$$

besitzen, so findet man, dass für $t = 1^h$ und 13^h y dem Werthe α am nächsten kommt. Bezeichnen wir daher α als Gleichgewichts- oder Null-lage, so ergibt das tägliche Mittel der Ordinatenwerthe von 1^h und 13^h (wenn 0^h den mittleren Mittag bedeutet) eine gute Annäherung an den täglichen Nullpunktswerth α . Derselbe wurde in dieser Weise ermittelt, und er ist auf Fig. 18 eingetragen. Da es sich hierbei nicht um grosse Genauigkeit handelt, so wurden die kleinen Schwankungen der Schwingungsdauer nicht berücksichtigt, und der unter Beobachtung der Gewichte bestimmte Mittelwerth aller Reduktionskonstanten, $0'',568$ für 1 cm Ordinatenänderung, angewendet. In der Darstellung ist der Maassstab der y zwar $\frac{1}{10}$ des natürlichen, dagegen ist der Zeitmaassstab derart verkürzt, dass vor einer Ueberschätzung der Nullpunktsbewegung ausdrücklich gewarnt werden muss. Dieselbe ist vielmehr im Allgemeinen täglich so gering, dass Kurve und Basislinie auf jedem Photogramm meist parallel zu laufen scheinen. Trat eine abnorme Bewegung ein, sei es wegen mangelhafter Korrektion an den Regulirschrauben, sei es aus geophysi-

kalischen Gründen, so dass das Pendel, seiner Trägheit folgend, mit grosser Beschleunigung an den nördlichen oder südlichen Anschlag wanderte, so konnte natürlich das ganze Ausmaass der Bewegung des Pendels nicht mit einer entsprechenden Lothänderung identifizirt werden. Vielmehr wurde empirisch für beide Richtungen diejenige Stelle bestimmt, bei welcher die Beschleunigung ein bestimmtes Maass überschritt, und die Ordinatenwerthe wurden nur bis zu diesem Punkte hin verwerthet. Uebrigens trat dies selten ein, und der Umstand, dass die Nord- und Südrichtung hiervon fast gleich oft betroffen wurden, macht dieses Vorgehen zu einem unbedenklichen. Tage, welche nicht verwerthet werden konnten, sei es wegen allzugrosser Abnormität, oder wegen anderer Gründe, wurden unter der Annahme eines den angrenzenden Zeiten entsprechenden Ganges meist ohne Unsicherheit ergänzt. Der Vollständigkeit wegen schien es gerathen, bei dieser Untersuchung die Tage bis zum 20. Dezember mit zu berücksichtigen.



Von Schwankungen abgesehen — die gestrichelte (Nullpunkt-)Kurve Fig. 18 —, ist der Verlauf der Nullpunktsbewegung etwa folgender: vom 1. April an, entsprechend der südlichsten Lage, setzt sich eine, wohl schon früher begonnene Neigung des Zeniths nach Nord bis gegen Ende August fort; dann tritt eine Südwärtsbewegung ein, welche mit Beschleunigung bis Mitte Dezember anhält. Dieser Gang entspricht, wie besonders zu erwähnen ist, den v. Rebeur'schen Beobachtungen fast völlig.

Es scheint, mit Rücksicht auf die früher entwickelte Theorie der täglichen Periode, zu gelingen, für die so eben skizzierte Bewegung, welche auch ohne lokale Einflüsse einen ähnlichen Verlauf haben müsste, eine ausreichende Erklärung zu geben. Erinnern wir uns, dass im Sommersolstitium des Nordens die Lage der solaren Deformation die nördlichste im ganzen Jahre ist, und somit das Mittel der täglichen Ablesungen in dieser Zeit einen nördlicheren Werth repräsentirt, als irgend sonst, und dass das Umgekehrte für das Wintersolstitium gilt, bei welchem das südliche Extrem erreicht wird. Dies galt für eine konstante Bewölkungsziffer und ohne Berücksichtigung des Ganges der äusseren Lufttemperatur. Die Nullpunktsbewegung, welche für gleichmässiges Wetter nur aus der obigen Deformationstheorie resultirt, ist ihren Sinne nach in beliebigem Maassstabe in Fig. 18 oben durch die unterbrochen punktirte Linie angedeutet.

Beachtet man nun, dass das jährliche Maximum der mittleren Tagestemperatur in die Zeit von Ende Juli und Anfang August fällt, dass somit auch die grösste Anschwellung des Erdbodens zu derselben Zeit stattfindet, so folgt daraus eine etwas nördlichere Mittellage für den Spätsommer. (Es braucht kaum darauf aufmerksam gemacht zu werden, dass die Grösse der Amplitude der täglichen Periode, wie gezeigt wurde, nothwendig einen anderen Gang besass. Dort handelte es sich um den Unterschied der täglichen Extreme, hier jedoch um das Mittel aus den Werthen.) Hieraus erklärt sich zum grossen Theil die Verspätung der Lothbewegung gegen die Theorie um etwa zwei Monate, wenn auch die Abnahme von ε d. h. des Winkels zwischen der Achse der Deformationshaube und dem Aequator, im Spätsommer eine Zunahme der Südbewegung erfordert. Dabei sei nochmals ausdrücklich erwähnt, dass bei dieser Betrachtung des Einflusses der allgemeinen Deformation, welchen wir ungeachtet der hier thatsächlich weit überwiegenden Installationswirkungen mit Hinsicht auf seine Realität bei besonders günstigen Stationen untersuchten,

absolut kein Temperaturproblem vorliegt, sondern nur die Deformation der Oberfläche zur Geltung kommt, welche auch in 5 m Tiefe noch eine elastisch verzögerte und abgeschwächte Bewegung mitverursacht.

Vergleicht man nun mit der Nullpunktsverlegung den Temperaturgang (T, ausgezogene Linie, Fig. 18) so ersieht man im Ganzen in Uebereinstimmung mit jenem theoretischen Erforderniss, dass der Abnahme von T, d. h. im Herbst, eine Südwärtsbewegung, einer Zunahme, d. h. im Frühling, eine nördliche Bewegung des Zeniths entspricht. Sieht man aber genauer auf die einzelnen Schwankungen, so bemerkt man ein durchaus entgegengesetztes Verhalten, welches vorerst jeder Erklärung durch analoge Betrachtungen zu widerstehen scheint. Im Einzelnen nämlich erzeugt eine Erwärmung eine südliche Neigung, und umgekehrt, und zwar findet dies, wie man sich überzeugen wird, vor allem in den Zeiten, zu welchem der allgemeine Gang des Nullpunkts gering ist, mit so erstaunlicher Konsequenz statt, dass an einer Realität der Erscheinung nicht zu zweifeln ist. — Zur Erklärung schien die Bemerkung zu führen, dass sich diese Parallelbewegung durchaus an die Kellertemperatur anschliesst und gleich dieser der äusseren Temperatur um 4 bis 5 Tage nachfolgt. Läge die Ursache, wie a priori von der Hand zu weisen war, in der äusseren Temperatur, so dürfte, den früheren Ergebnissen entsprechend, höchstens eine Verspätung von $\frac{3}{4}$ Tagen eintreten. Daher musste die Erscheinung auf den Gang der Kellertemperatur zurückgeführt werden, weswegen auch die letztere in Fig. 18 ausgezeichnet ist. Es könnten hier Asymmetrieen innerhalb des Apparates, etwa in den Wärmeausdehnungskoeffizienten, zum Theil als Ursache anzusehen sein, aber es lässt sich hierüber naturgemäss nichts Exaktes aussagen. Hier zeigt sich eben mit Evidenz, dass im einzelnen der Lokaleinfluss des Gebäudes das Bestimmende für die Bewegung des Pendels ist, denn der Widerspruch verschwindet sofort, wenn wir beachten, dass ein Wärmestrom vom Keller nach aussen hin das Loth nach Süd, ein solcher von aussen nach innen dasselbe nach Nord bewegt. Im ersten Falle steigt die Keller- und fällt die Aussentemperatur, im Falle der Nordablenkung umgekehrt. Der Vorgang ist jedoch nicht weiter zu verfolgen und bei jeder anderen Aufstellung sicher von ganz anderer Art. Es sei aber wiederholt bemerkt, dass für Stationen inmitten eines weithin stets beschatteten Gebietes jene theoretischen Betrachtungen sehr wohl zum Ausdruck kommen können und dass dort wahrscheinlich ein ähnlicher Nullpunktsgang beobachtet werden wird.

Kämen keine Sprünge vor, so könnte man aus der Veränderung

der Schwingungsdauer T , natürlich unter Berücksichtigung der künstlichen Korrekturen an der hinteren der drei Schrauben, auf den allgemeinen Gang des Zeniths auch im ersten Vertikal schliessen. Man wird aber niemals direkt feststellen können, ob eine Veränderung in T etwa durch eine Erdbebenstörung, bei welcher Versetzungen in meridionaler Richtung, wie wir sehen werden, nicht selten sind, hervorgerufen wurde, oder ob dieselbe das Resultat einer längeren Bewegung darstellt. T wurde alle Monate mit einem mittleren wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0'',06$ bestimmt, und die Veränderungen würden, wenn man bedenkt, dass ein Wachsen von T einer Senkung nach Ost (und umgekehrt) entspricht, eine Ostneigung bis Mitte September und von dort ab eine konstante westliche Bewegung repräsentiren. Doch gilt dies, wie gesagt, nur unter der Annahme eines ungestörten Verlaufes. — Hierbei mag erwähnt werden, dass mit Rücksicht auf den geringen Einfluss einer falschen Zeitbestimmung für eine T -Änderung wie dies v. Rebeur l. c. z. B. pag. 285 nachgewiesen, die neuen Reduktionskonstanten in der Regel sofort so in die Rechnung eingeführt wurden, wie sie sich nach jeder Bestimmung ergaben.

Auf die Bewegungen des Nadirs konnte keine Rücksicht genommen werden, obschon dieselben des Vergleiches wegen Interesse bieten. Niveaubeobachtungen leiden an den nie verschwindenden Störungen in Folge der Adhäsion und können bezüglich der Genauigkeit wohl nicht direkt mit dem Horizontalpendel verglichen werden. Die Kurve des Luftdruckes und der relativen Feuchtigkeit geben, wie zu erwarten war, keine Beziehung zum Nullpunkt, denn der Sonnenstand erklärte bereits im Verein mit der äusseren Lufttemperatur den allgemeinen Gang. Aus demselben Grunde wurde auf Messungen des Grundwasserstandes gar nicht eingegangen.

Im Ganzen ist die Bewegung recht bedeutend, denn sie überschreitet $31''$; dabei war an einigen Tagen der Gang so enorm und so auffallend, dass in solchen Fällen wohl reale Bodenbewegungen angenommen werden müssen. Meist begann ohne jede Störung die Niveaufläche, sich erst allmählich, dann immer schneller zu neigen, bis entweder das Pendel aus Trägheit, wie erwähnt, bis an den Anschlag wanderte, oder die Bewegung hörte auch allmählich wieder auf. In der Regel jedoch musste der registrirende Lichtpunkt korrigirt werden, und dann eben zeigte sich oft mit Evidenz, dass der letzte Theil der Bewegung nur in der Trägheit des Pendels seine Ursache hatte, indem die neue Lage nunmehr ruhig erhalten blieb.

Keine Richtung ist in dieser Hinsicht bevorzugt worden und daher rechtfertigt es sich, in Betreff der Aufzeichnung des Nullpunktganges bei einem zu bestimmenden Punkte abzuberechnen. Sonst war aber der tägliche Gang so gleichmässig und gering, dass er einer Geraden sehr nahe kam und der Basiskurve parallel zu laufen schien.

Endlich sind noch einige ganz abnorme Tage zu erwähnen, an welchen die ganze Kurve durchaus regellos südwärts und nordwärts gebrochen erscheint. Dies trat im Herbst ein, zuerst 17. August, dann 13., 14., 16., 21. September; 15., 17.—19., 29.—31. Oktober; 1., 22.—24., 30. November. Es sind Bewegungen von oft stundenlanger Dauer und beträchtlicher Grösse, welche entschieden jeden seismischen Charakters entbehren, und es bleibt nichts übrig, als hierfür eine geotektonische Bewegung anzunehmen, welche durch die unelastische Alluvialschicht nach oben hin gedämpft wird. Jedoch ist es nicht ganz von der Hand zu weisen, dass die bei Gelegenheit der Behandlung der Pulsationen angestellten Betrachtungen vielleicht auch auf diese Vorgänge auszudehnen sind.

Auch jener von v. Rebeur bemerkten langen Wellen von etwa $0^h,8$ Dauer und etwa $0'',06$ Amplitude, welche von Juni bis August meist Nachmittags beobachtet wurden, sei hier nur gedacht, da darüber nichts Erklärendes gesagt werden kann. Vielleicht ist es auch hier richtiger, die Erscheinung zu den Pulsationen zu rechnen.

II. Theil.

Unperiodische, kurze Bewegungen: Mikroseismische Bewegung, Pulsationen und Erdbebenstörungen.

Während wir es bis jetzt mit stetigen, langperiodischen Schwankungen der Erdoberfläche zu thun hatten, welche selbst auf den Photogrammen nur durch Messung mit aufgelegter Quadratmillimetertheilung beobachtet werden können, werden wir uns von jetzt ab mit folgenden auffälligen, von v. Rebeur mit Recht in drei Gruppen eingetheilten Erscheinungen beschäftigen: der mikroseismischen Bewegung, den Pulsationen und den Erdbebenstörungen. Dem äusseren Anblick nach kennzeichnet sich die erste Art durch zahlreiche, stets

zur Normallage symmetrisch liegende Schwingungen, welche, noch bevor sie zur Ruhe gekommen sind, stets von neuem erregt werden. Kurz aufeinander folgende Stösse von verschiedener, jedoch nie bedeutender Intensität sind die Ursache dieser oft Tage lang andauernder Bewegungsform, welche man als „mikroseismische Bewegung“ bezeichnet.

Scharf hiervon zu unterscheiden sind kurze Lothschwankungen, welche jedoch so allmählich eingeleitet werden, dass das Pendel niemals in Schwingungen geräth. In zwei bis acht Minuten vollzieht sich eine dieser ruhigen Wellenbewegungen, deren erste Hälfte fast immer eine längere Zeit beansprucht, als die letzte. Hier liegen also nicht Stösse zu Grunde, sondern allmählich eingeleitete Bodenbewegungen oder Spannungen, welche sich alsbald in kürzerer Zeit wieder auslösen. Diese „Pulsationen“ beweisen schon dadurch ihre Eigenart, dass sie durch das Eintreten von Störungen erster und dritter Art in ihrer Ausbildung nicht behindert werden, vielmehr neben denselben ruhig fortbestehen. Denn man kann an günstigen Stellen hierbei den ungestörten Verlauf der Pulsationen trotzdem erkennen.

Zur dritten Gattung endlich gehören jene völlig abnormen, unregelmässigen Bewegungen, welche man ohne jeden Zweifel als Zeugen ferner Erdbeben, als Aeusserungen vorbeieilender Erdbebenwellen anzusehen hat. Diese oft ausserordentlich intensiven, meist mit Versetzung der Gleichgewichtslage verbundenen, stundenlang anhaltenden Schwingungen werden daher als „Erdbebenstörungen“ bezeichnet.

Wir beginnen nun mit der Besprechung der

1. Mikroseismischen Bewegung.

An derselben ist hinsichtlich der v. Rebeur'schen Untersuchungen, der Erscheinung nach Neues nicht beobachtet worden. Wie erwähnt, erhält das Pendel kurz aufeinander folgende kleine Stösse, durch welche es in Schwingungen geräth und jene so unverkennbaren und äusserst charakteristischen Figuren aufzeichnet. Die beste Ausbildung des Phänomens ist jetzt am 12. Dezember 12^h—20^h und während des 5. und 6. Dezember zu Stande gekommen. Die kürzesten Stösse, welche gezählt werden konnten, und von denen drei auf 1 mm gingen, folgten in etwa 54^s aufeinander; häufige Intervalle bei stärkeren Stössen sind sodann 1^m,9, 2^m,7, 3^m,3, 3^m,8, 4^m,9 und 5^m,4. Die Amplitude erreichte einmal 0'',26, doch blieb

sie meist hinter diesem Werthe zurück. Niemals ist die Bewegung mit Nullpunktsversetzungen verbunden, und wohl schon hierdurch kennzeichnet sie sich als ein oberflächliches Phänomen.

Die Intensität der mikroseismischen Bewegung hat, wie schon v. Rebeur ausführlich darthut, eine jährliche Periode, und auch jetzt wurde dieselbe für die Zeit vom 1. April bis 1. Januar wieder festgestellt. Die folgenden Relativzahlen stellen die Veränderung der mittleren monatlichen Intensität dar; sie wurden durch Addition und Reduktion der für jeden einzelnen Tag unter Zugrundelegung einer empirischen Skala berechneten Mittelwerthe gebildet.

	M. B.	W.		M. B.	W.
April	18,7	—	September	3,0	48
Mai	16,5	56	Oktober	32,9	69
Juni	6,0	50	November	31,0	68
Juli	7,4	53	Dezember	54,2	86
August	13,6	57			

Die Zahlen unter W bedeuten die ebenso erhaltenen relativen Windstärken, worüber weiter unten gehandelt werden wird.

Dagegen ist die Häufigkeit der unruhigen Tage folgendermassen vertheilt:

Tage mit M. B.:								
April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
7	7	9	10	9	2	13	14	15

In beiden Uebersichten erkennt man das Anwachsen der Intensität und Häufigkeit nach dem Dezember hin, welcher selbst der unruhigste Monat ist. Auffallend ist die Abnahme im September, welcher Monat übrigens auch der an Erdbeben weitaus ärmste ist.

Was die Erklärung der Erscheinung betrifft, so muss vor allem betont werden, dass im Gegensatz zu den früheren Beobachtungen die Beziehung zur Windstärke nunmehr in einer Deutlichkeit zu Tage tritt, dass man für jetzt gedrängt wird, den Wind als alleinige Ursache anzunehmen. Allerdings sind die hier vorliegenden Resultate mit den v. Rebeur'schen, einmal wegen des Fehlens der Monate Januar—März, und vor allem wegen des Mangels an Frost nicht direkt vergleichbar. Während der Zeit nämlich, in welcher der Boden gefroren ist, verschwand im Winter 92/93 die Beziehung zum Wind fast gänzlich, obgleich die Intensität in dieser Zeit ihr Maximum hatte, und v. Rebeur musste daher in dieser Zeit allgemeinere Ursachen für die mikroseismische Bewegung annehmen, welche aber

noch unaufgeklärt sind. Die über die Erdoberfläche mit Reibung hinströmenden Luftmassen, welche, durch Unebenheiten aufgehalten, sodann wieder mit verstärkter Geschwindigkeit nachdrängen, erzeugen dadurch Stösse, welche um so heftiger sind, je grösser die Windgeschwindigkeit, und um so schneller auf einander folgen, je rauher der Erdboden ist. In weichem Boden pflanzen diese Bewegungen sich langsamer, aber mit einer zu Anfang grösseren Intensität fort, als in hartgefrorenem Boden, woselbst die Heftigkeit von vornherein eine viel geringere ist; dagegen ist in weichem Erdreich die Ausbreitung einer Erschütterung, welche z. B. von einem punktuell wirkenden Windstosse herrührt, geringer und trägt einen lokalen Charakter, weil die Intensität hier sehr bald erstirbt (l. c. pag. 374).

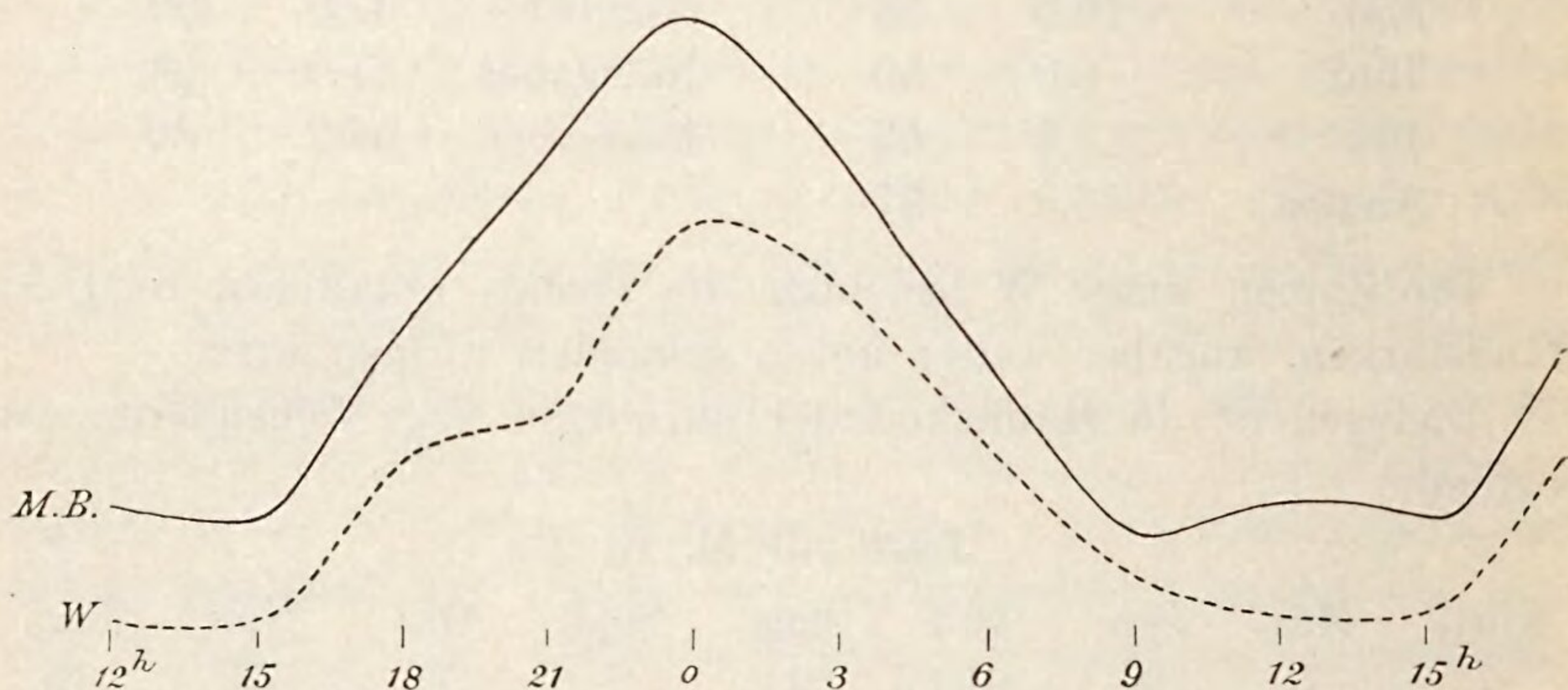


Fig. 19.

Für die diesjährigen Beobachtungen kommt nur die letztere Ueberlegung zur Anwendung, weil in der Zeit bis zum 1. Januar der Boden nie gefroren war. Hier schien der Wind die alleinige Ursache der mikroseismischen Bewegung zu sein, obgleich man nach den Erfahrungen des Jahres 92/93 zu dieser Annahme im Allgemeinen nicht berechtigt ist. Immerhin ist es nothwendig, den Parallelismus selbst nachzuweisen, was um so leichter wird, als es überflüssig ist, bei der einfachen Sachlage detaillirte Uebersichten zu geben, welche ja ohne Ausnahme stets dasselbe beweisen würden. Durch die Güte des Herrn Dr. Hergesell standen hierzu die Kontaktzahlen des registrirenden Anemometers auf der Spitze des Wasserthurmes hier (61 m) zur Verfügung, welches noch unter den für die Oberfläche geltenden Windgesetzen steht. Für jeden Tag wurde nun die Intensität der mikroseismischen Bewegung von drei zu drei Stunden, an besonderen Tagen genauer, mit der Windstärke verglichen, und es

ergab sich dabei gerade im Einzelnen ein so vollkommener Parallelismus, dass man im Stande war, von einer Erscheinung her die andere einfach ablesen zu können. Dasselbe gilt auch für die Uebersicht auf Seite 195.

Interessant ist die tägliche Periode. Wie bei der Windgeschwindigkeit in der Nähe der Erdoberfläche, liegt auch für die mikroseismische Bewegung das Maximum bei etwa 1^h, das Minimum gegen 15^h. Die folgenden Zahlen sind die Summen der den Grad der Intensität, bezw. der Geschwindigkeit darstellenden Werthe, ebenfalls gültig für die Zeit vom 1. April bis 1. Januar (s. auch Fig. 19).

	12 ^h	15 ^h	18 ^h	21 ^h	0 ^h	3 ^h	6 ^h	9 ^h	12 ^h
M. B.	30	29	42	53	63	54	40	28	30
W.	82	82	93	96	109	105	94	85	82

Erst nach Abschluss der Beobachtungen im April 96 wird es Zeit sein, die Periodicität für jeden Monat einzeln zu betrachten, da sich bis dahin vielleicht auch eine Abweichung von der Abhängigkeit vom Winde herausgestellt haben wird. Aus demselben Grunde ist es ferner unterlassen worden, eine mathematische Form für die seismische und die äolische Periode aufzustellen. Augenblicklich ist eben der Parallelismus so vollständig, dass für jetzt diese konstatirenden Bemerkungen allein genügen.

2. Pulsationen.

Die Unterscheidung, welche v. Rebeur zwischen mikroseismischer Bewegung und jenen langsamen Wellen macht, welche als Pulsationen bezeichnet werden, hat sich auch jetzt wieder als wohl begründet gezeigt. In der That erscheinen Pulsationen an sonst völlig ruhigen Stellen der Kurven, und die mikroseismische Bewegung tritt unabhängig von den Wellen auf. Andererseits kommt es vor, dass beide Bewegungen einander ablösen, so dass eine aus der anderen hervorzugehen, und beide sich gegenseitig zu durchdringen scheinen, aber es muss festgehalten werden, dass die Unruhe des Bodens ein Produkt des Windes ist, die Wellen aber eine hiervon durchaus unabhängige Erscheinung darstellen.

Der Charakter dieses merkwürdigsten aller hierher gehörigen Phänomene ist im Ganzen folgender: sobald eine regelmässige, langsame Wellenbewegung den Aufstellungsort des Pendels passirt, folgt dasselbe, ohne in freie Schwingungen zu gerathen, diesen Neigungsänderungen völlig nach, was bei der Langsamkeit der Schwankungen

ohne Weiteres einleuchtet. Der registrirende Lichtpunkt hinterlässt daher eine Sinuslinie, welche wegen der langsamen Walzendrehung sehr zusammengeschoben wird, und daher schon bei Perioden von 3^m nur an den Rändern der Kurve eine deutliche Zählung ermöglicht. Bei noch geringeren Perioden erscheint die Kurve wie gefranst; andererseits erkennt man bei längeren Perioden die Bewegung in allen ihren Theilen in vollem Maasse. Oefters ist ein System von kleinerer Amplitude und kürzerer Dauer grösseren Wellen superponirt, woraus man erkennen mag, wie komplizirt die hier vorliegende Bewegung thatsächlich ist. Auffallend ist ferner die Asymmetrie bezüglich der Zeit. Meist liegt nämlich der Wellenberg näher an dem folgenden Wellenthale, derart, als ob eine langsam eingeleitete Spannung rasch ausgelöst worden wäre. Die bei v. Rebeur öfters auftretenden, langen Reihen aufeinanderfolgender, völlig gleichmässiger Pulsationen von 2—3^m Dauer sind jetzt nur sehr selten beobachtet worden, vielmehr wechselten dieselben in kurzer Zeit Periode und Amplitude. Dagegen waren die knotenförmigen Erweiterungen der Kurve zuweilen vorhanden, und man muss sich wohl der Ansicht anschliessen, dass dieselben sehr kurzperiodische Pulsationen darstellen, deren Amplitude zu- und abnimmt, da wegen der Unabhängigkeit dieser Knotenfiguren vom Winde von mikroseismischer Bewegung, welche allein in Frage käme, somit nicht die Rede sein kann. Das Räthselhafteste an der ganzen Erscheinung ist jedoch wohl der, wie ich glaube, noch nicht bemerkte Umstand, dass öfters, und zwar 0^h,5 bis 0^h,8 nach einer vorgenommenen Korrektion des Pendels Pulsationen von einer Ausbildung erscheinen, wie sie sonst niemals vorkommen; nach 6 bis 8 Wellen nimmt die Bewegung dann wieder ab und gewinnt auch dann ihren natürlichen Charakter. Es lag zuerst nahe, die Ursache des ganzen Vorganges in einer diskontinuirlichen Bewegung des Oeles zwischen dem Schrauben- und dem Muttergewinde an der Korrektionsschraube zu suchen. Doch zeigte sich wiederholt, dass die Erscheinung durchaus nicht bei jeder Korrektion eintritt, aber es ist ja nicht undenkbar, dass sich das Oel zuweilen sofort stabil vertheilt. Auch war es auffallend, dass öfters vor grösseren Störungen vorzüglich ausgebildete Pulsationen auftraten, als ob die Unruhe, welche der Erschütterung vorhergeht, für das Hervortreten dieser Erscheinung besonders günstig wäre.

Bevor wir jedoch zur näheren Diskussion schreiten, war es nothwendig, die Beobachtungen selbst in tabellarischer Form zu skizziren, und es ergab sich daraus, dass erstens das Maximum der Intensität

auf Ende Oktober und Anfang November fällt, während von Anfang März bis Mitte September die Pulsationen völlig fehlen. Mitte November nimmt die Intensität merklich ab, um, wie vorweg bemerkt sein mag, Mitte Januar und Anfang Februar noch einmal aufzuleben. Das Maximum der kurzen Wellen, deren T nicht grösser als 4^m ist, fällt in die erste Novemberwoche und sodann in die Mitte des Januar; das der längeren Pulsationen dauert dagegen von Mitte Oktober bis Anfang November. Eine Zusammenstellung nach der Tageszeit ergab die sehr bemerkenswerthe Thatsache, dass das Maximum gegen 14^h fällt und die Zeit von 8^h bis 16^h , also die Abend- und Nachtstunden, umfasst. Am Tage treten die Pulsationen sehr zurück.

Eine weitere Diskussion scheint mit Rücksicht auf die fehlende Kenntniss der Pulsationen in der Richtung des ersten Vertikals noch verfrüht, doch wird es Interesse bieten, folgende kurze Betrachtung anzustellen, ohne damit irgendwie eine Erklärung geben zu wollen.

Zwar haben John Milne und v. Rebeur beobachtet, dass die Intensität der Pulsationen ungefähr der Veränderlichkeit der barometrischen Gradienten proportional sei, dass also eine rasche Aenderung der Wetterlage für das Phänomen besonders günstig ist. Da schnelle Veränderungen der barometrischen Depressionen nun aber zu allen Jahreszeiten vorkommen, kann unmöglich hierin die Ursache für eine Erscheinung liegen, welche ausschliesslich an die Monate Oktober bis März gebunden ist. Man wird dazu gedrängt, nach einem kosmischen Grunde zu suchen.

Nehmen wir nun an, dass das Magma des Erdinnern eine gewisse Beweglichkeit relativ zu den nach oben hin mehr erstarrten Theilen der Kruste besitzt, so folgt daraus, dass überhaupt die beweglicheren Theile des Erdinnern durch die Anziehung der Sonne von der Nacht- zur Tagseite der Erde hingedrängt werden, dass also bezüglich der Schattengrenze eine Asymmetrie durch Auflockerung einerseits und Verdichtung andererseits entsteht. Im Perihel muss daher dieser Unterschied zwischen Nacht- und Tagseite besonders gross werden, welcher als eine Folge der Sonnenattraktion stets dieselbe Lage zu der Sonne beibehält, während die Erde selbst über diese Asymmetrie hin rotirt.

Erzeugen nun in der That die Diskontinuitäten, welche bei der eintretenden Auflockerung entstehen müssen, in der Grenzzone Spannungen, welche sich alsbald auslösen, so ist klar, dass dieselben vor allem bei der Zunahme dieser Asymmetrie, also in der Zeit vor dem Perihel und noch während desselben auftreten müssen. Dieselben

pflanzen sich nach oben hin fort und könnten in Form von Pulsationen zur Erscheinung kommen. Die Bewegung würde zwar wegen der Rotation der Erde vorwiegend ostwestlich gerichtet sein müssen, doch ist ohne Schwierigkeit einzusehen, dass auch Spannungen in anderen Azimuten eintreten können. Unter diesen Voraussetzungen ist es nicht geradezu ausgeschlossen, dass die Pulsationen, da sie von Oktober bis Januar vorwiegend, und zwar zur Nachtzeit erscheinen, in ähnlichen Vorgängen ihre Ursache haben. Natürlich soll damit, da wir uns auf die Beobachtung der meridionalen Komponente beschränken mussten, etwas Bestimmtes durchaus nicht gesagt sein, aber auf die erwähnte Asymmetrie der Wellenformen, welche hier zu Gunsten spricht, soll doch noch besonders hingewiesen sein. — Dieser Auffassung gemäss ergäbe sich folgende theoretische Uebersicht über das Auftreten von Pulsationen (Tabelle VII) in allen Breiten und Jahreszeiten, wobei 0 das Fehlen derselben, und 1 bis 3 den Grad der Intensität bedeutet. Dass die Abplattung das Eintreten des Phänomens am Aequator begünstigt, ist natürlich beachtet. Die Zahlen beziehen sich auf die Nacht, die eingeklammerten auf den Tag. Genauer haben die Werthe im Sommer und Winter für die Zeit bezw. nachher und vorher zu gelten, weil nur eine eintretende Spannung, aber keine nachlassende, Auslösungen bedingt.

Tabelle VII.

φ	Frühlings- äquinoktium	Sommer- solstitium	Herbst- äquinoktium	Winter- solstitium
+ 90°	0	0	0	1
+ 45°	0	0	0	3 (1)
0°	1	1	1	2 (0)
— 45°	0	2 (0)	0	1
— 90°	0	0	0	0

Dass eine rasche Veränderung des Oberflächendruckes die Erscheinung fördern wird, ist durchaus verständlich, wenn man erwägt, dass sich in solchen Fällen zwei Ursachen summiren, von denen die eine von unten, die zweite, mehr accessorische, von oben her wirkt. Die Länge der Periode T wird wohl theoretisch weniger wesentlich sein, zumal sie an keine festen Regeln gebunden zu sein scheint. Vielmehr ist T sehr veränderlich, nicht allein in diesem Jahre, wo

T bei den kurzen Pulsationen von $0^m,8$ bis $1^m,4$, bei den Wellen sogar von $2^m,2$ bis 27^m schwankt, sondern auch in den verschiedenen Jahren erreicht die Periode ungleiche Beträge. Im Jahre 1892—93 waren nach v. Rebeur kleine, erstaunlich regelmässige Pulsationen von $2^m,5$ mittlerer Dauer bei weitem vorherrschend, wenngleich auch Werthe von 17^m erreicht wurden. Im Jahre 1895 herrscht der Werth 6^m vor, dagegen treten Perioden von 2^m Dauer zurück, auch ist die Amplitude beträchtlich geringer. Beiläufig sei erwähnt, dass wegen der verdoppelten Drehgeschwindigkeit der Registrirwalze das Auszählen an geeigneten Stellen recht sicher war, obgleich längere Reihen, wie solche am 19. Oktober 1892 und 19. Dezember 1892 vorkamen, höchst selten erschienen.

Die grossen, den Pulsationen so ähnlichen Wellen, welche etwa $\frac{3}{4}^h$ nach der Vornahme einer Korrektur zuweilen auftreten, sind entschieden nicht natürlichen Ursprunges. Dafür spricht zuerst die gleichmässige Abnahme der Amplitude mit der Zeit, nachdem der Vorgang durch eine aussergewöhnlich grosse Hin- und Herbewegung eingeleitet ist, ferner auch die deutlich erkennbare Aenderung des Charakters, sobald die natürlichen Pulsationen wieder hervortreten können. Am ungezwungensten ist die schon angedeutete Annahme, dass das Oel zwischen dem Gewinde und der Mutter an der korrigirten Schraube eine ungleichmässige Konsistenz besitzt, oder dass Unreinlichkeiten kleine Stauungen verursachen. Allerdings ist dies bei den Korrekturen während der pulsationsfreien Jahreszeiten nicht beobachtet worden, andererseits fehlten diese Wellen aber auch zuweilen von Oktober bis Februar. Fast jedes Mal war jedoch eine, etwa $0^h,5$ anhaltende, starke, wenn auch stetige, Nullpunktsbewegung vorhanden, welche, wie v. Rebeur schon bemerkte, die allmähliche Zusammenpressung der Oelschichten erzeugt. Das Vorkommen von solchen unnatürlichen „Pulsationen“ wird also ein mehr zufälliges sein.

3. Verzeichniss der Erdbebenstörungen vom 28. März bis 1. Dezember 1895.

Obgleich es einer späteren Untersuchung vorbehalten ist, die seismischen Störungen zu verarbeiten, um vor allen Dingen die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Erdbebenwellen zu messen, ist es der Vollständigkeit wegen am Platze, schon jetzt ein detaillirtes Erdbebenverzeichniss hier anzufügen, welches ja für jeden Fall aufgestellt werden muss.

Dass jeder natürlichen Störung in den Photogrammen eine seismische Erschütterung entspricht, ist nunmehr so sicher, dass über diesen Punkt sofort hinweggegangen werden kann. Auch hier musste bei kleinen, knopfartigen Figuren in der Klassifizierung eine kleine Willkür dann eintreten, wenn sie in der Nähe von mikroseismischer Bewegung auftraten. Erschienen sie inmitten sonst ruhiger Zeiten, so wurden sie zu den Störungen gezählt. Dieser Missstand ist insofern unbedenklich, als zweifelhafte Fälle nur selten eintraten, und überhaupt so kleine Figuren hier ohne grösseres Interesse sind.

Die so wichtige Zeitbestimmung geschah in folgender Weise: durch die Glastafel wurde der Abstand der auf die Basislinie senkrecht projizierten Störungsphase von dem stets scharf erscheinenden Stundenanfang gemessen und mit einem von der Länge einer Stunde abhängigen Koeffizienten multipliziert, welcher wegen der unregelmässigen Kontraktion des Papiers verschieden gross ist. Bei der angewendeten Drehgeschwindigkeit beträgt 1 mm meist $2^m,72$, so dass einem Fehler von 0,1 mm ein solcher von etwa 16^s entspricht. Da der feste Lichtpunkt wegen der Konvergenz der Lichtstrahlen, welche von den beiden Hohlspiegeln auf die Cylinderlinse fallen, 0,8 mm höher steht als der bewegliche, so müssen, da die Walze sich auf der Registrirseite von oben nach unten bewegt, alle Zeitangaben um $2^m,18$ vermehrt werden. Die Registriruhr wurde täglich morgens um 7^h , später mittags um 1^h , durch den Pförtner Sabel mit dem astronomischen, mittlere Ortszeit angehenden Chronometer, Schweizer 58, unter Berücksichtigung seiner eigenen Korrektion, mit Uebertragung durch eine gute Taschenuhr verglichen, sobald der Schirm, nachdem er den festen Punkt auf 5^m abgeblendet hatte, um Voll herunterfiel. Da dies momentan geschieht, so ist die Bestimmung selbst auf etwa 1^s verbürgt. Leider war der Gang der Uhr nicht sehr gleichmässig und man wird daher gut thun, die Genauigkeit der Zeitangaben für nur 20^s bis 30^s anzunehmen. Immerhin sind in der Tabelle die Sekunden angegeben, wie sie die Messung ergab.

Da das Verhältniss unbekannt ist, welches quantitativ zwischen der Stärke eines Erdstosses und dem Ausschlage des Pendels besteht, und die freien Schwingungen die theoretische Ablenkung in unbekanntem Maasse vergrössern, so ist doch klar, dass im Allgemeinen Proportionalität vorhanden ist. Dazu kommt noch, dass die jedesmal in Betracht kommende Empfindlichkeit des Pendels in Rechnung gezogen werden muss. Bei einem und demselben Ausschlage ist der ihn verursachende Stoss bei grösserer Empfindlichkeit kleiner, und

umgekehrt. Daher sind in dem folgenden Verzeichniss neben den in mm angegebenen grössten und mittleren Ausschlägen die betreffenden Reduktionskonstanten in Klammern beigelegt. — Wegen der verdoppelten Drehgeschwindigkeit der Walze gegen früher konnte man gut unterscheiden, welche Schwingungen frei, und welche durch fortdauernde Erdbewegung unterhalten und erzwungen wurden. Daher sind in den Photogrammen, welche sich im geographischen Seminar der hiesigen Universität befinden, und auf welche in vielen Fällen zur genaueren Einsicht selbst zurückgegangen werden muss, mit Leichtigkeit die einzelnen Stösse unterschieden worden. Danach mussten bei dem Anschwellen der Bewegung, auch innerhalb kleinerer Phasen, jeder Ausschlag auf einen besonderen Stoss zurückgeführt, dagegen bei der Abnahme mit Beziehung auf die bekannte natürliche Schwingungsfigur, wie sie stets bei der Bestimmung der Schwingungsdauer erschien, erst eine übergrosse Verlängerung oder gar ein neues Anwachsen mit einer Fortdauer der Erzitterung identifiziert werden. Ist das Anschwellen scheinbar kontinuierlich, und die Schwingungsfigur bei der Abnahme unnatürlich verschleppt, so erfordert dies die Annahme einer zitternden Bewegung von veränderlicher Intensität. — Nie kam es vor, dass der registrirende Lichtpunkt auf Grund einer Störung die Walze verliess, dagegen waren Versetzungen der Gleichgewichtslage sehr oft damit verbunden.

Im Allgemeinen waren die Störungsfiguren auf den Photogrammen von vorzüglicher Deutlichkeit, und es ist zu erwarten, dass man, sobald man mittels eines kombinierten Pendels Aufzeichnungen in mehreren Azimuten erhält, im Stande sein wird, sich von der wirklichen horizontalen Erdbewegung an einer Stelle ein Bild zu machen, welches der Wirklichkeit sehr nahe kommt.

Der Einfachheit wegen sind in dem Verzeichniss folgende, theils von v. Rebeur übernommene, Abkürzungen eingeführt:

> bedeutet ein plötzliches Anschwellen der Bewegung, und darauf folgende, allmähliche Abnahme. Die Ursache ist wohl ein einfacher Stoss. Zeitbestimmung gut möglich.

(> bedeutet ein sehr rasches Anwachsen und allmähliche Abnahme der Bewegung.

< bedeutet eine allmählich anwachsende Bewegung. Zeitbestimmung des Anfangs unsicher.

<> bedeutet langsame Zu- und Abnahme.

$A_{\max}$, A = grösster, mittlerer Ausschlag in mm.

R = Reduktionskonstante, welche angiebt, welcher Neigungsänderung der Vertikalen (in Bogensekunden) 1 mm Ausschlag entspricht.

B = Beginn

E = Ende der Störung.

M_1, M_2, M_3 = erstes, zweites, drittes Maximum der Störung.

Sg (S, N) = Senkung des Lothes nach S, N (bei Versetzungen).

Die Zeit ist in h, m, s nach Strassburger mittlerer Ortszeit, von Mittag zu Mittag (0^h) gerechnet, angegeben. Genauigkeit etwa 25 s.

Verzeichniss

der in Strassburg i. E. an dem in den Fundamenten der Kaiserl. Univ.-Sternwarte aufgestellten v. Rebeur'schen Horizontalpendel beobachteten, meridionalen Komponenten der hauptsächlichsten Erdbebenstörungen.

Vom 28. März bis 1. Dezember 1895..

1. April. $>$ einfacher Stoss; B $0^h 0^m$; $A_{\max}$ 4^{mm} (R 0'',0461); Sg (S) 0'',161.
20. April. $<>$ 3phasig, klein; B $10^h 20^m 49^s$; M_1 $10^h 29^m 47^s$; M_2 $10^h 34^m 51^s$; kleine Anschwellung bei $10^h 47^m 0^s$ und $10^h 58^m 53^s$; $A_{\max}$ 3,5^{mm} (R 0'',0489).
23. April. 5 Stösse; B $23^h 20^m 16^s$; Max. $23^h 39^m 44^s$; $A_{\max}$ 6^{mm} (R 0'',0489); E $23^h 50^m 48^s$.
14. Mai. $<>$ 8 Stösse; B $15^h 44^m 2^s$; Max. $16^h 6^m 30^s$; $A_{\max}$ 5^{mm} (R 0'',0524); E $16^h 49^m 42^s$.
20. Mai. ($>$ Max. $9^h 48^m 3^s$; $A_{\max}$ 4,8^{mm} (R 0'',0695).
20. Mai. 3phasig; M_3 $15^h 53^m 10^s$; B $15^h 20^m 14^s$; E $16^h 35^m 37^s$; $A_{\max}$ 5,0^{mm} (R 0'',0695).
21. Mai. ($>$. B $4^h 26^m 42^s$; Max. $4^h 31^m 18^s$; $A_{\max}$ 4^{mm} (R 0'',0695); E $4^h 36^m 26^s$.
23. Mai. 3phasig; B $1^h 57^m 48^s$; M_1 $2^h 14^m 21^s$; M_2 $2^h 46^m 13^s$; M_3 $3^h 7^m 37^s$; E $4^h 15^m$; $A_{\max}$ 3,6^{mm} (R 0'',0695).
28. Mai. $<>$ gross; B $21^h 53^m 54^s$; Max. $22^h 21^m 46^s$; E $23^h 43^m 22^s$; $A_{\max}$ 21^{mm} (R 0'',0695).
31. Mai. $<>$ gross; B $22^h 47^m 20^s$; Max. $23^h 43^m 1^s$; E 1. Juni $0^h 34^m 23^s$; $A_{\max}$ 15^{mm} (R 0'',0695); Sg (S) 0'',20.
15. Juni. $<>$ gross; B $4^h 19^m 7^s$; M_1 $4^h 47^m 27^s$ M_2 (grösstes) $5^h 11^m 29^s$; E $6^h 30^m 59^s$; $A_{\max}$ 20^{mm} (R 0'',0699); Sg (N) 0'',21.
22. Juni. ($>$; B $5^h 33^m 26^s$; Max. $5^h 42^m 53^s$; E $5^h 48^m 17^s$; $A_{\max}$ 6,5^{mm} (R 0'',0699).
29. Juni. $<>$ mit einem ausgeprägtem Max. B $0^h 3^m 11^s$; Max $0^h 35^m 35^s$; E $1^h 18^m 2^s$; $A_{\max}$ 21; A 4^{mm} (R 0'',0699); Sg (N) 0'',14.
29. Juni. Ebenso; B $12^h 50^m 42^s$; Max. $13^h 7^m 30^s$; E $13^h 7^m 30^s$; $A_{\max}$ 9^{mm} (R 0'',0699).

2. Juli. Mehrphasig; B $0^h 17^m 15^s$; E $0^h 56^m 11^s$; A 4^{mm} (R $0'',0699$).
4. Juli. $\langle \rangle$ 2 phasig, gross; B $17^h 12^m 42^s$; M_1 (grösstes) $17^h 26^m 18^s$; M_2 $17^h 48^m 3^s$; E $18^h 15^m 57^s$; A_{max} 23^{mm} , A 4^{mm} (R $0'',0699$); Sg (N) $0'',14$.
8. Juli. ($\rangle$ ausserordentlich stark. B $11^h 17^m 1^s$; Hauptbewegung beginnt $11^h 23^m 32^s$; M_1 (grösstes) $11^h 29^m 58^s$; M_2 $14^h 23^m 16^s$; E $15^h 27^m 4^s$; A_{max} 62^{mm} , A 8^{mm} (R $0'',0699$).
14. Juli. $\langle \rangle$ gross; B $2^h 45^m 58^s$; Max. $3^h 38^m 49^s$; E $4^h 7^m 10^s$; A_{max} 15^{mm} , A 5^{mm} (R $0'',0509$); Sg (N) $0'',21$.
19. Juli. $\rangle$ ein Stoss; $23^h 32^m 30^s$; Sg (S) $0'',24$.
26. Juli. $\langle \rangle$ vielphasig; B $9^h 28^m 56^s$; E $9^h 48^m 46^s$; A $2,5^{\text{mm}}$ (R $0'',0509$).
18. August. ($\rangle$ ein Stoss; $23^h 1^m 32^s$; A $5,4^{\text{mm}}$ (R $0'',0608$).
21. August. $\langle \rangle$ B $1^h 25^m 5^s$; Max. $1^h 35^m 49^s$; E $2^h 10^m 50^s$; A_{max} 4^{mm} (R $0'',0608$).
25. August. $\langle \rangle$ mehrphasig; B $5^h 35^m$; Max. $6^h 11^m$; E $6^h 35^m$; A_{max} $3,5^{\text{mm}}$ (R $0'',0608$). [Kurve verdorben.]
4. Oktober. ($\rangle$ gross, mit mikros. Bew. verbunden; B $0^h 9^m 47^s$; M_1 $0^h 14^m 58^s$; M_2 (grösstes) $0^h 34^m 32^s$; E gegen 1^h ; A_{max} 17^{mm} , A 5^{mm} (R $0'',0468$); Sg (S) $0'',608$ bei M_2 .
13. Oktober. $\langle \rangle$ Max. $10^h 9^m 21^s$; A_{max} 6^{mm} (R $0'',0468$).
18. Oktober. ($\rangle$ 2 phasig; M_1 $12^h 32^m 57^s$; M_2 $12^h 40^m 13^s$; A_{max} $6,7^{\text{mm}}$ (R $0'',0468$).
19. Oktober. Ausserordentlich starke, komplizierte Störung. B $22^h 6^m 11^s$; bei $22^h 15^m 40^s$ beginnt die grosse Störung, welche bis $23^h 6^m 45^s$ in vier Versetzungen nach Nord verläuft; erste Sg $22^h 20^m 0'',655$; zweite Sg $22^h 32^m 16^s 0'',47$; dritte Sg $22^h 48^m 0'',889$; vierte Sg $23^h 0^m 19^s 0'',655$; Gesamtversetzung (N) also $2'',67$; bis 23^h : A_{max} 45^{mm} , A 12^{mm} , dann A 7^{mm} und weniger (R $0'',0468$) E 20. Oktober $0^h 51^m 8^s$.
23. Oktober. $\rangle$ gross, stossartig. B $23^h 3^m 4^s$; Max. $23^h 6^m 44^s$; E $23^h 26^m 12^s$; A_{max} 19^{mm} (R $0'',0468$).
27. Oktober. ($\rangle$ Max. $7^h 11^m 15^s$. A 6^{mm} (R $0'',0468$).
28. Oktober. ($\rangle$ gross; B $13^h 51^m 30^s$; M_1 $14^h 2^m 17^s$; M_2 (grösstes) $14^h 13^m 18^s$; E $15^h 23^m 41^s$; A_{max} 34^{mm} , A 7^{mm} (R $0'',0468$); Sg (S) $0'',187$.
1. November. ($\rangle$ sehr gross; B $12^h 40^m 30^s$; M_1 (grösstes) $12^h 57^m 16^s$; M_2 $13^h 17^m 17^s$; M_3 $13^h 26^m 32^s$; E $13^h 56^m 27^s$; A_{max} 49^{mm} , A 6^{mm} (R $0'',0547$).

10. November. Stark, mit einem ausgeprägten Max.; B $1^h 39^m 56^s$; Max. $2^h 32^m 3^s$; E $3^h 17^m 5^s$; $A_{\max} 19,5 \text{ mm}$, A $3,5 \text{ mm}$ (R $0'',0547$). Bewegung des Pendels erscheint wie gedämpft.
10. November. $\langle \rangle$ sehr gross; B $15^h 10^m 34^s$; $M_1 15^h 29^m 19^s$; M_2 (grösstes) $16^h 4^m 51^s$; $M_3 16^h 47^m 50^s$; E $17^h 56^m 16^s$; $A_{\max} 39 \text{ mm}$, A 9 mm (R $0'',0547$). Bewegung ist wieder ungehindert
10. November. $\langle \rangle$ 2 Störungen dieser Form zusammenhängend; B $20^h,5$; M_1 (grösstes) $21^h 1^m 57^s$; $M_2 21^h 45^m 58^s$; E 22^h E $22^h 36^m 49^s$; $A_{\max} 8 \text{ mm}$, A 2 mm (R $0'',0547$).

Zu den hier aufgezählten hauptsächlichsten Störungen kommen nun noch eine grosse Zahl bedeutend kleinerer Stösse, deren Amplitude selten 2 mm übersteigt, und welche einzeln aufzuführen, ohne Interesse wäre. In der folgenden Statistik (Tabelle VIII, IX und X) sind alle, auch die kleinsten seismischen Diskontinuitäten der Kurven in folgende vier Klassen getheilt:

1. Normale $\langle \rangle$ förmige, mehrphasige Störungen, symmetrisch zur Nulllage.
2. Ebenso, aber mit kleinen Lothversetzungen.
3. Einfache Stösse, nach deren Eintritt das Pendel ruhig ausschwingt.
4. Ebenso, aber mit kleinen Versetzungen.

Die Zahlen in Tab. VIII bis X über den Kolumnen beziehen sich hierauf. Tab. VIII und IX geben für die kleinen, bzw. die im Verzeichniss aufgeführten grossen Störungen, monatsweise die Zahl der einer bestimmten der vier Gruppen zugehörigen Störungsformen, welche überhaupt vorkamen. In der zweiten Kolonne ist die Zahl der in Betracht kommenden Tage angegeben, da, wie anfangs erwähnt, einige Tage ausfielen.

Tabelle VIII. (Kleine Störungen.)

	Tage	1	2	3	4	Summe
[März 28.—31.	4	7	0	0	8	15]
April 1.—30.	27	7	0	10	7	24
Mai 1.—31.	31	9	2	3	9	23
Juni 1.—30.	28	11	0	1	4	16
Juli 1.—31.	31	9	0	4	20	33
August 1.—31.	31	14	0	1	18	33
Sept. 1.—30.	30	3	0	1	15	19
Oktober 1.—31.	31	7	0	1	4	12
Nov. 1.—30.	30	5	0	1	1	7
Summe	243	72	2	22	86	182

Die im Verzeichniss aufgenommenen grossen Störungen vertheilen sich folgendermassen:

Tabelle IX. (Grosse Störungen.)

	Tage	1	2	3	4	Summe
[März 28.—31.	4	0	0	0	0	0]
April 1.—30.	27	1	0	1	1	3
Mai 1.—31.	31	5	1	1	0	7
Juni 1.—30.	28	2	2	0	0	4
Juli 1.—31.	31	2	3	0	1	6
August 1.—31.	31	2	0	1	0	3
Sept. 1.—30.	30	0	0	0	0	0
Oktober 1.—31.	31	3	3	1	0	7
Nov. 1.—30.	30	5	0	0	0	5
Summe	243	20	9	4	2	35

In Tab. X endlich sind die Zahlen angegeben, welche anzeigen, auf wieviele Tage bei gleichmässiger Vertheilung immer eine Störung fällt; dabei sind die Gruppen 1, 2 und 3, 4 vereinigt.

Tabelle X.

		1 + 2	3 + 4		1 + 2	3 + 4
April	kleine Störungen	3,9	1,6	grosse Störungen	27	13
Mai		2,8	2,6		5	31
Juni		2,5	5,6		7	(∞)
Juli		3,4	1,3		6	31
August		2,2	1,6		15	31
September		10,0	1,9		(∞)	(∞)
Oktober		4,7	6,0		5	31
November		6,0	15,0		6	(∞)

Auch diesmal scheinen die Sommermonate die erdbebenhäufigsten zu sein, doch kann über solche Fragen erst nach mehrjährigen Beobachtungen etwas Bestimmtes ausgesagt werden.

Im Anschluss hieran sei noch der auffallenden Unempfindlichkeit des Horizontalpendels gedacht, in welcher es Erschütterungen nahen Ursprunges gegenüber scheinbar verharret. An der Empfindlichkeit gegen Neigungsänderungen ist nicht zu zweifeln, indem sich dieselbe ja in Zahlen ausdrücken lässt; auch genügte stets nur ein leiser Druck auf die Steinkonsole, um das Pendel in enorme Schwingungen zu versetzen. Die Empfindlichkeit für Erdstösse ist daher, wie v. Rebeur (l. c. pag. 498) nachweist, noch bedeutender. Wenn also selbst bei makroseismischen Erschütterungen, wie in der Nacht vom 21. zum 22. Januar 1896, das Pendel in Ruhe verblieb, so rührt dies entweder von der in der Nähe des Epicentrums grössten Geschwindigkeit der Erdbebenwelle, welche eine Ablenkung von so kurzer Dauer erzeugte, dass das Pendel seiner Trägheit wegen nicht folgen konnte, weswegen hierfür kürzere und schwerere Pendel wohl geeigneter wären. Bei grosser Empfindlichkeit bedarf das Pendel stets einer Zeit von etwa fünf Sekunden, um auf einen selbst starken Druck zu reagiren; es ist daher klar, dass bei sehr schnell vorübereilenden Neigungsänderungen, welche keinerlei Versetzung der Gleichgewichtslage erzeugen, der Apparat in Ruhe bleiben muss. Auch kann der Ausnahmefall eintreten, dass die Stossrichtung mit der augenblicklichen Richtung des Pendelarmes koincidirte, wobei theoretisch keine Ablenkung eintreten kann. Der Stoss kann in jeder beliebigen Richtung innerhalb der Ebene, welche durch den Schwerpunkt des Pendels und die Drehungsachse geht, auftreten, also auch succussorisch sein, ohne dass eine

Reaktion entsteht. Dass zwei Dynamitsprengungen anlässlich des Baues der neuen Kehler Rheinbrücke am 23. November Vormittags keinen Einfluss hatten, liegt neben der Trägheit wohl auch an dem unelastischen Kiesboden, welcher weithin den Untergrund bildet; denn hier ersterben bekanntlich Erschütterungen nach der Tiefe zu sehr rasch. Dazu kommt, dass in diesem Falle die Richtung der Stösse nahezu ostwestlich war, also bei der jetzigen Aufstellung des Instrumentes der des Pendelarmes parallel läuft. Doch erst, wenn man in mehreren Azimuten zugleich beobachtet, ist es möglich, hierüber etwas Zuverlässiges zu bestimmen.

Anhang.

Vorschlag zu einem neuen Pendelapparat.

Das Bedürfniss, die Bewegungen der Erdrinde in zwei Azimuten zu beobachten, ist, da nur hierdurch eine vollkommene Analyse möglich ist, natürlich und nothwendig. Schon Ewing hatte in Japan zwei zu einander senkrechte Pendel aufgestellt, und E. v. Rebeur arbeitete bis zu seinem Tode an der Konstruktion eines neuen, auch bezüglich der Spitzenaufhängung bedeutend verfeinerten, zweifachen Pendels. Nach seinen Angaben hat nun der Mechaniker Stückrath in Friedenau bei Berlin einen Apparat beschrieben¹⁾, welcher als das vollkommenste Instrument dieser Art bezeichnet werden muss. Dass freilich die Kosten dabei nicht unerheblich wachsen, ist in Anbetracht auf eine zu erstrebende Verbreitung der Horizontalpendeluntersuchungen zu seismologischen Zwecken eine bedenkliche Erschwerung.

Bei den durch Erdstösse in den Photogrammen hervorgerufenen Störungsfiguren ist es nie möglich, festzustellen, nach welcher Richtung das Pendel zuerst abgelenkt wurde, oder, was dasselbe ist, von welcher Seite her der Erdstoss kam. Es bleibt also immer eine Zweideutigkeit um 180° vorhanden. Bei einem einfachen Pendel kann man überhaupt nur sagen, dass der Stoss nicht in der Richtung des Pendelarmes gekommen ist, sobald ein Ausschlag beobachtet wurde. Betrachten wir zwei auf einander senkrechte Pendel, deren

¹⁾ Hecker, Das Horizontalpendel; Zeitschrift für Instrumentenkunde. XVI. Januar 1896.

Achsen senkrecht zur Niveaufläche stehen, und deren senkrechte Projektionen Fig. 20 darstellt, so bringt, wie die Anschauung lehrt,

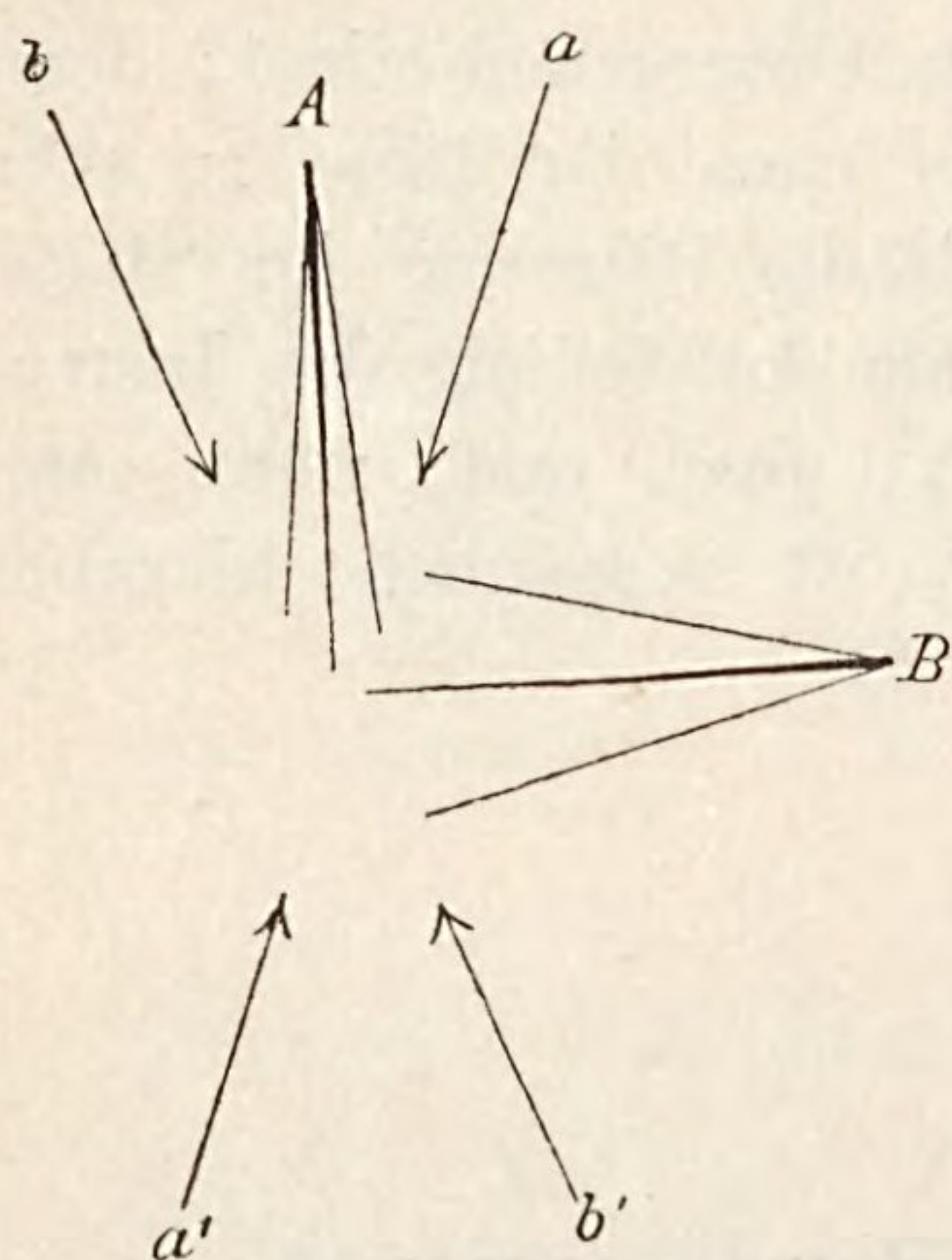


Fig. 20.

sowohl die Stossrichtung a (und a'), wie auch b (und b') denselben Effekt an den Pendeln, deren Achsen A und B sind, hervor. Hier bleibt also eine Vierdeutigkeit bezüglich der Stossrichtung bestehen, theils um 180° (a, a'), theils symmetrisch zu einem Pendel (a, b). Die verschiedenen Stationen werden, weil dies für die Untersuchung über die Sonnen- und Mondwelle grösseren Schwierigkeiten vorbeugt, die Meridian- und Ost-Westrichtung bei der Aufstellung bevorzugen. Selbst mehrere solcher Stationen vermögen dann aber die symmetrische Zweideutigkeit bei weit ent-

fernten Erdbeben nicht zu heben, sondern nur die diametrale. Haben dagegen die Stationen die Apparate in verschiedenen Richtungen aufgestellt, so kann ebenfalls nur in seltenen Ausnahmefällen Eindeutigkeit erreicht werden, nämlich, wenn zufällig bei der Diskussion der Störungsformen der verschiedenen Apparate eine einzige Richtung allen

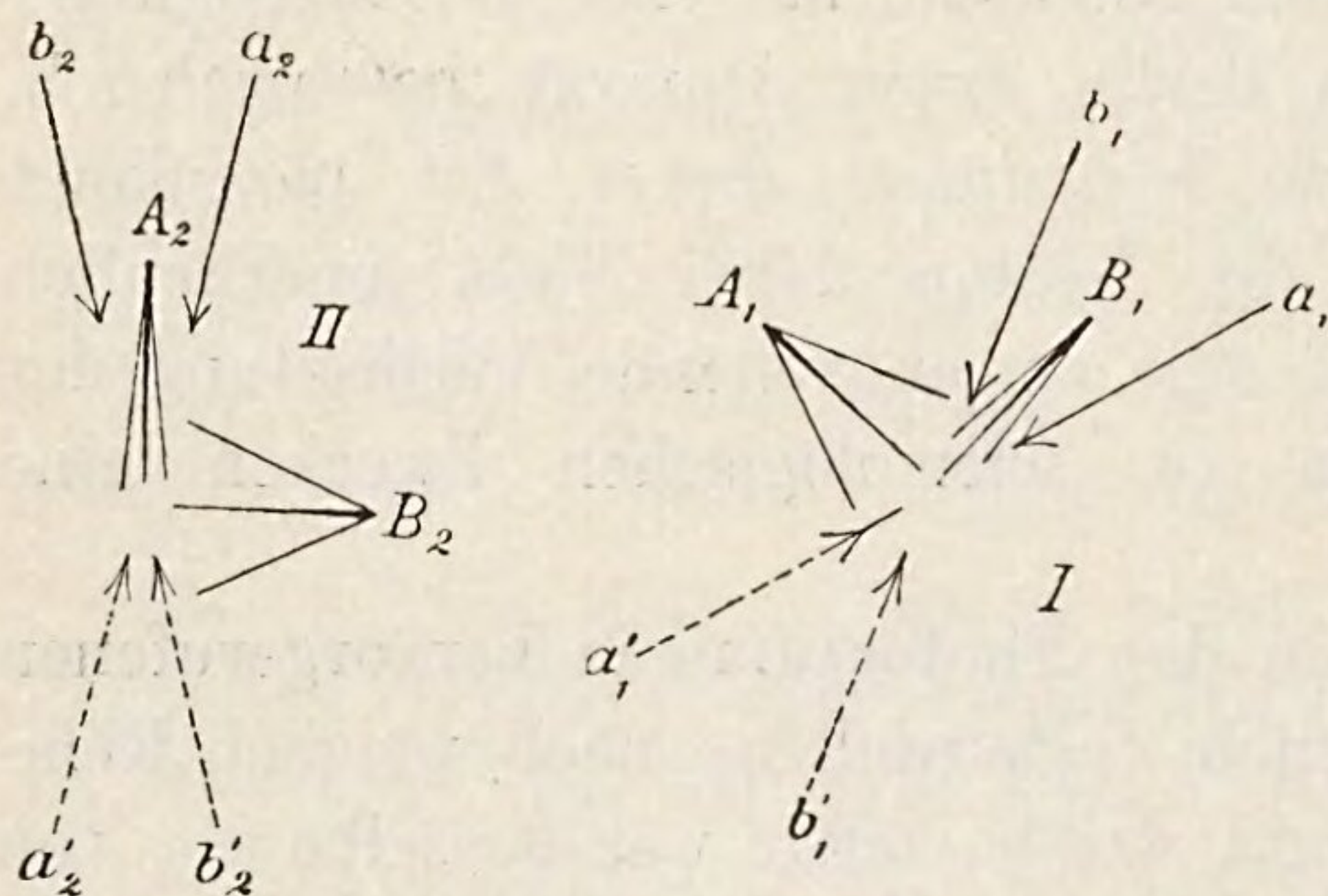


Fig. 21.

Stationen entspricht. Bei der bekannten Spaltung in verschiedene Richtungen in grosser Entfernung wird dies aber nur selten eintreten. Denn sind in Fig. 21 I und II zwei von einander entfernte Stationen mit je einem zweifachen Pendel, deren Achsen in $A_1 B_1, A_2 B_2$ liegen, und erfordert die Störungsfigur in I die vier Richtungen a_1

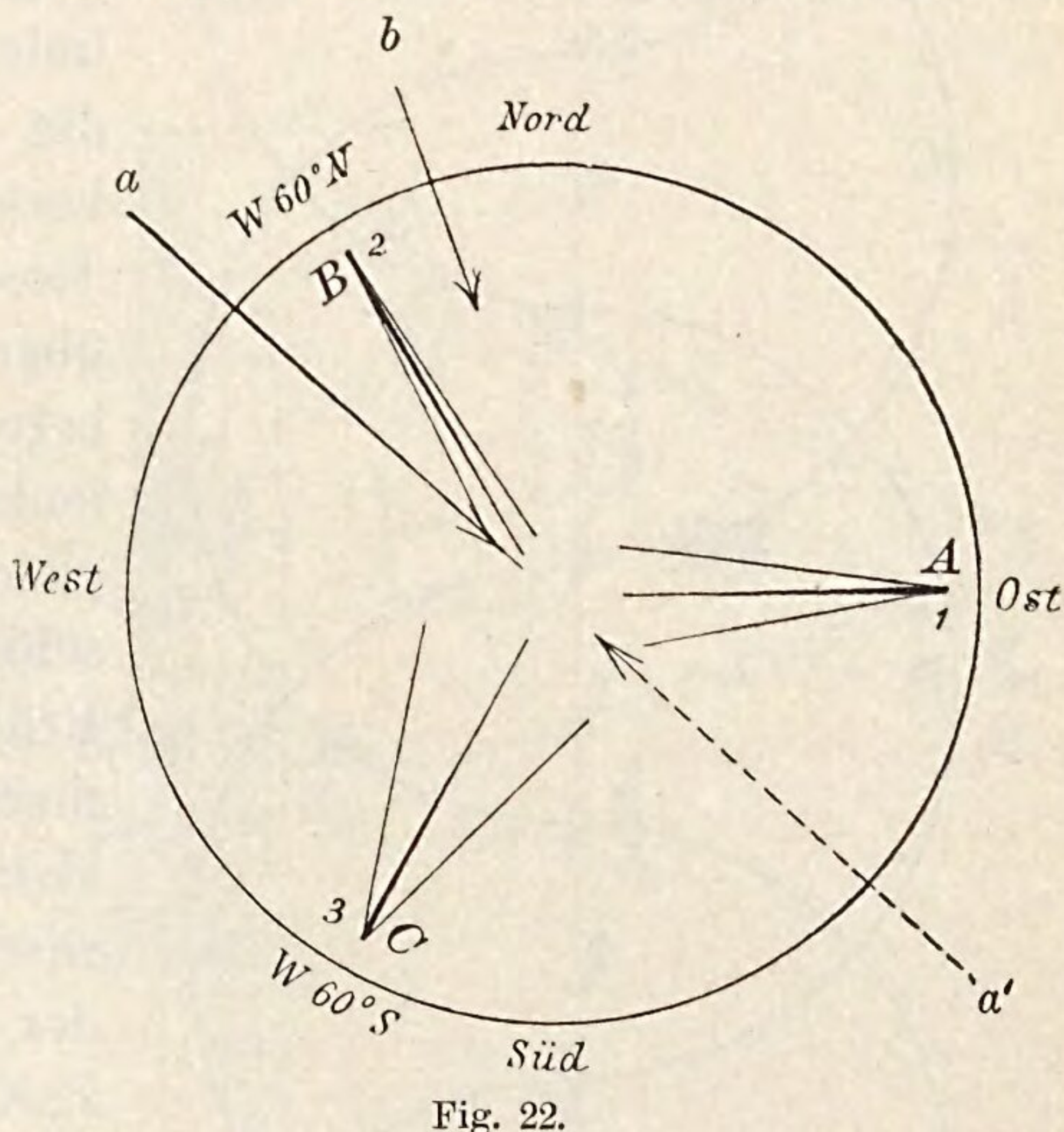
(a'_1), b_1 (b'_1), dagegen II die Richtungen b_2 (b'_2), a_2 (a'_2), und ist in I die Störung zuerst bemerkt, so sind zwar sofort die Richtungen $a'_1 b'_1, a'_2 b_2$ ausgeschlossen, aber über die anderen bleibt ein vierfacher Zweifel, bei n Stationen theoretisch eine $2n$ -Deutigkeit bestehen. In diesem Falle würde man etwa b_1 mit a_2 kombiniren, doch kann die Sache auch ungünstiger liegen und die Richtungen zertheilen oder

krümmen sich sogar in geologisch verworfenem Gebiete; aber gerade jene Zerspaltungen wollen wir ja in der Seismologie untersuchen.

Daher kann es nützlich sein, an dieser Stelle einen Vorschlag zu machen, wie man durch zwei Stationen selbst bei paralleler Aufstellung der Apparate jedesmal Eindeutigkeit, bei einer einzelnen Station aber nur eine diametrale Zweideutigkeit erreichen kann: —

Durch eine Kombination von drei Pendeln auf einem Apparat, welche miteinander den Winkel von 120° einschliessen¹⁾.

Die Reduktion der Vierdeutigkeit auf eine diametrale Unsicherheit wird durch Fig. 22 klar werden. Sind A B C die Achsen der drei Pendel, von oben gesehen, so wird ein Stoss in der Richtung a die Pendel aus ihrem normalen Stellungen versetzen und sie dann ausschlagen lassen. Die Wirkung des Stosses a' wird man von a nicht unterscheiden können. Kommt der Stoss jedoch in der Richtung b, so ist klar, dass nun Nr. 1 seine grösste Digression erfährt, und 3 und 2 kleinere, ungefähr gleich grosse Schwingungen ausführen werden. Denn, wenn



J die Intensität des Stosses, φ sein Azimut von Ost über N gezählt, T_i , T_{0i} die Schwingungszeiten in horizontaler und vertikaler Aufhängung für das Pendel i, und d der betreffende Abstand des Spiegels von der Walze ist, so ist der Ausschlag α_i bei ein und demselben Stosse

$$\text{für Nr. 1: } CJ \frac{d_1 T_1}{\tau_0^2} \sin \varphi$$

$$\text{für Nr. 2: } CJ \frac{d_2 T_2}{\tau_{02}^2} \sin (120^\circ - \varphi)$$

$$\text{und für Nr. 3: } CJ \frac{d_3 T_3}{\tau_{03}^2} \sin (240^\circ - \varphi)$$

wo C ein Proportionalitätsfaktor ist.

¹⁾ S. Anmerkung am Schluss.

geben, wie sie für den Mechaniker nothwendig wären, wird es doch nothwendig sein, die wesentlichsten Theile des Apparates einigermaßen zu erläutern (s. Fig. 24 u. 25).

Der gusseiserne, oben mit einer Glastafel (p) zu schliessende, etwa 11 cm hohe Cylindermantel (A) trägt an je einem starken Halter (a) 3, in Azimutalabständen von 120° aufgehängte, messingne Träger (T) für die Stahlspitzen (b b). Diese haben dieselbe Stellung wie in dem v. Rebeur-Stückrath'schen Apparate, d. h. die untere ist horizontal, die obere nach dem Punkte gerichtet, wo die im

Schwerpunkte des Pendelkörpers angreifende Richtung der Schwerkraft von der Verlängerung der unteren Spitze geschnitten wird. Um die Verbindungslinie ihrer Enden seitlich reguliren zu können, ist T um a drehbar (in Fig. 24 ist der vordere, wegen der Registrirung durchbrochene Träger im Querschnitt dargestellt, bei welchem der Halter a durchbohrt ist und in der Mitte liegt) und durch die Vorrichtung c (unten) fein zu verstellen. Zum Zwecke des Vor- und Rückwärts-

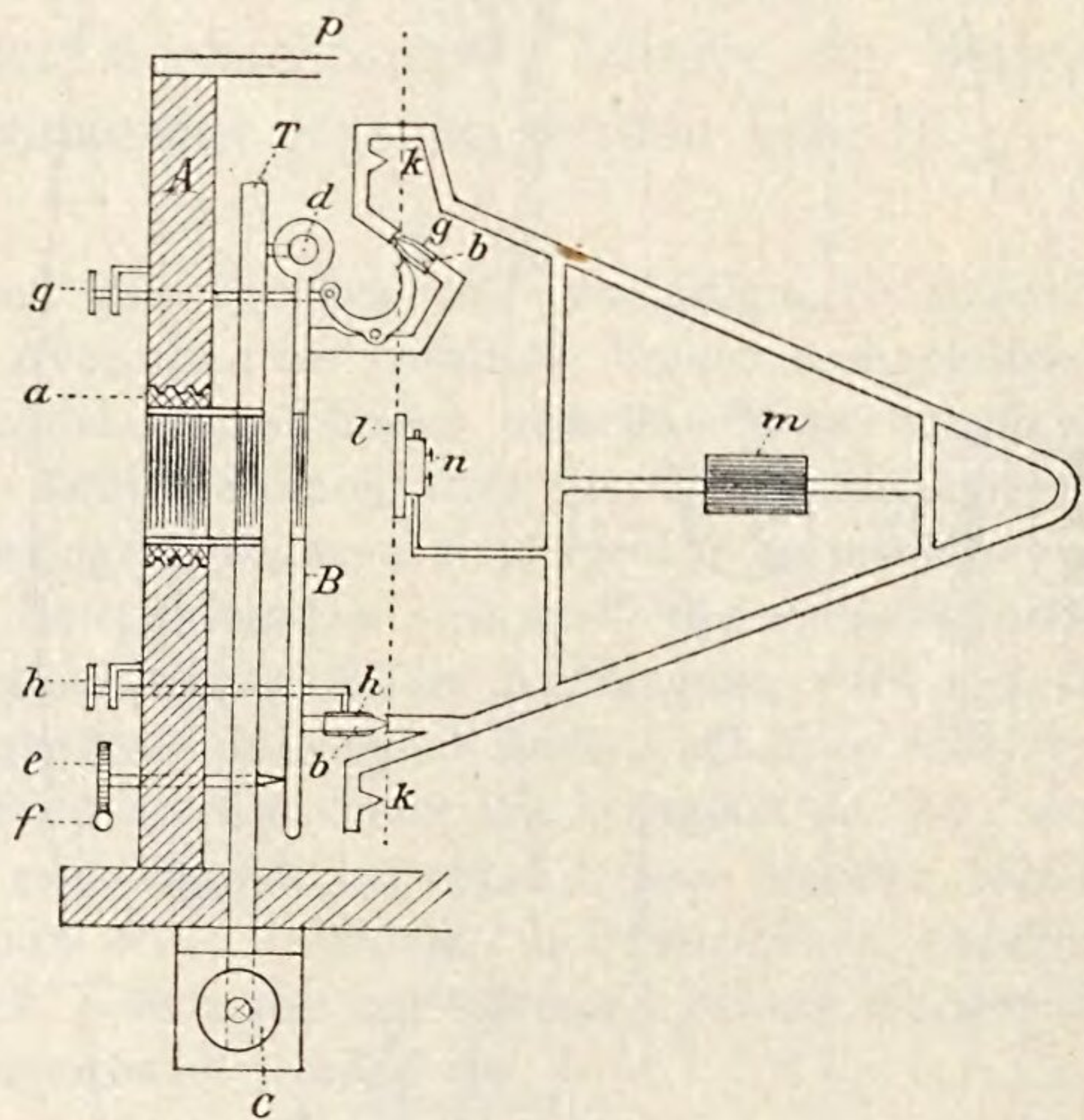
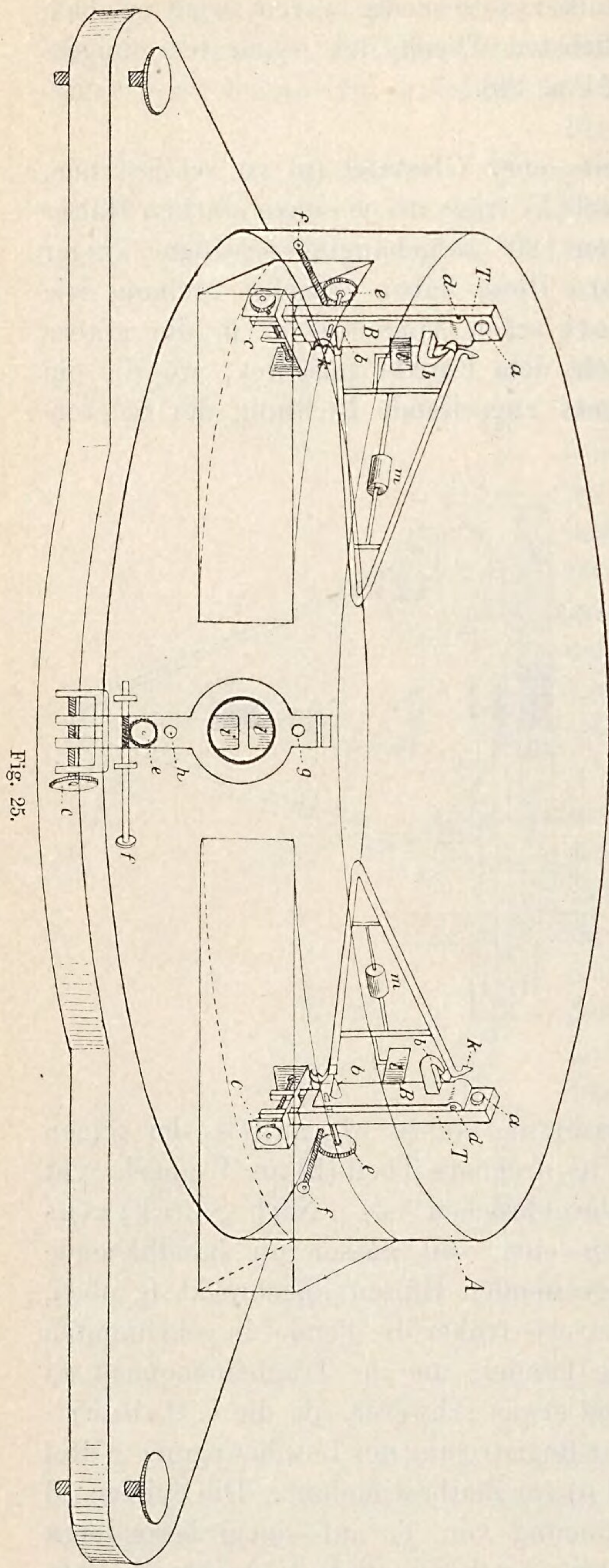


Fig. 24.

neigens ist der um die horizontale Achse (d) mittels der feinen Schraube (e) und des Schlüssels (f) drehbare Theil (B) an T angebracht (welcher in Fig. 24 wie T durchbrochen ist). Nach Stückraths Muster ist an beiden Spitzen eine von aussen zu handhabende Arretirung in Form von übergreifenden Hülsen angebracht (g oben, h unten). Auf den Spitzen ruhen wie früher die Pendel in gekrümmten Achatlagern auf, doch sind die Pendel, um ihr Trägheitsmoment zu verringern, erheblich kürzer und etwas schwerer, als die v. Rebeur'schen. Die Spiegel (l) dienen zur Registrirung der Lothbewegung in drei Komponenten, der feste Spiegel (i) zur Zeitbestimmung. Die Spitzen (k) endlich ermöglichen die Bestimmung von T_0 auf einem besonderen Stativ. Das Gewicht (m) ist von vorn herein derart äquilibrirt, dass



1) S. Anmerkung am Schluss.

das Trägheitsmoment des Pendels klein genug ist, um ein Reagiren auf Erdbebenwellen von grosser Geschwindigkeit und kurzer Dauer zu ermöglichen¹⁾. Die hierdurch eingebüsst empfindlichkeit wird durch die verhältnissmässig grosse Entfernung des Registrirapparates von den Spiegeln (l) wieder hergestellt, welche einen Krümmungsradius von 6 bis 7 m erhalten. — Zur Registri-

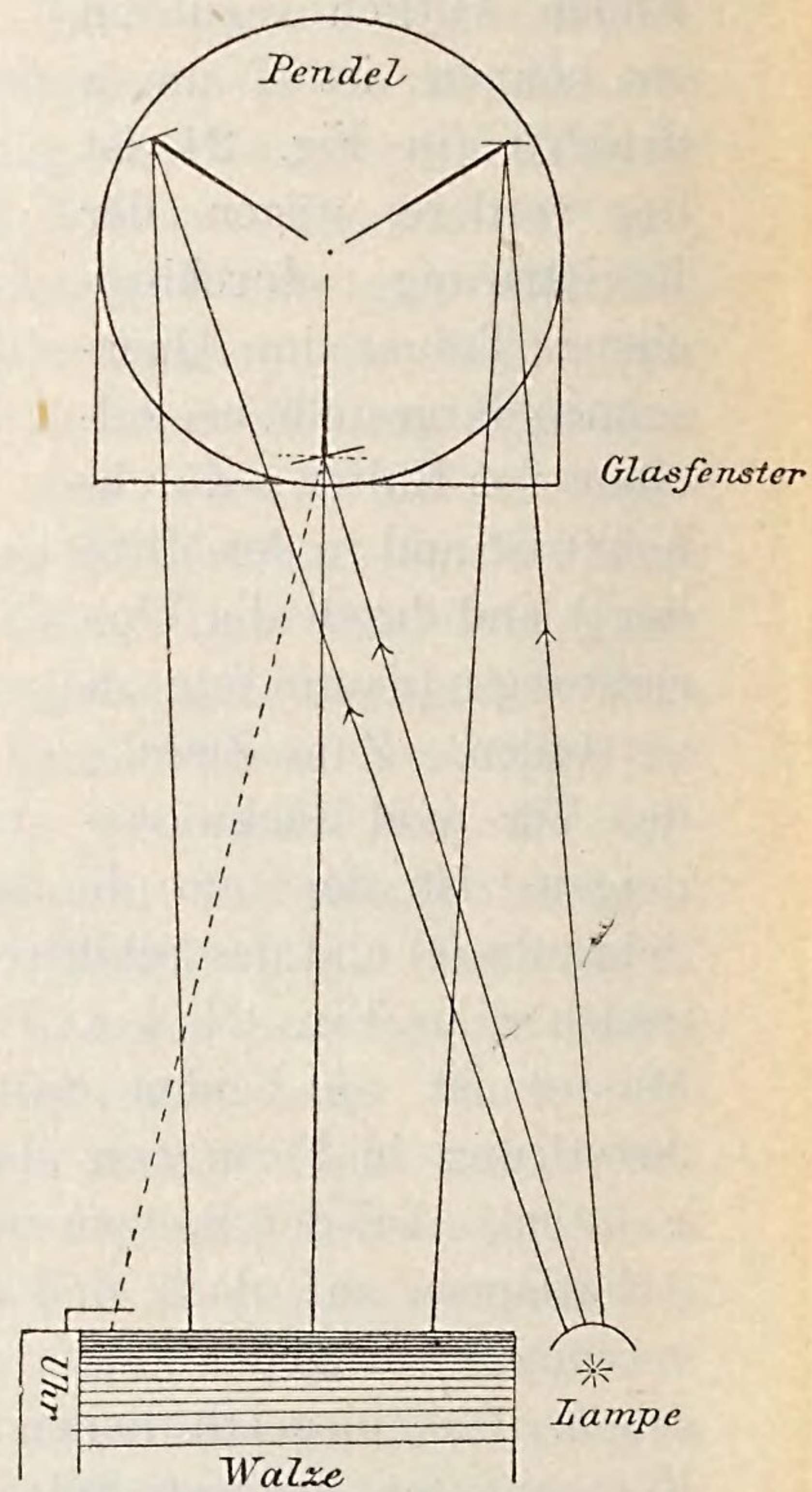


Fig. 26.
Registrirvorrichtung (von oben gesehen).

rung selbst genügt eine Lampe mit einer Walze (s. Fig. 26). Um die reflektirten Strahlen geeignet auf der Walze zu vereinigen, muss die Normale der in den Pendelachsen angebrachten Spiegel (l) mit den einfallenden Lichtstrahlen verschiedene, empirisch zu bestimmende Winkel bilden, weshalb sie auch mit Stellschrauben (n) versehen sind. Die Lampe besitzt drei regulirbare Spalte derart, dass die drei Spiegel (h) und der feste (i) drei helle Spaltbilder reflektiren, welche durch eine Cylinderlinse in der gemeinsamen Brennweite des Spiegel zu vier gleich hellen, scharfumgrenzten Punkten auf der Walze vereinigt werden.

Der Apparat wird im Oktober 1896 fertig gestellt sein, und es ist zu hoffen, dass im Anschluss an die demnächst erfolgende Bearbeitung des Jahresabschlusses der Beobachtungen, bereits ein Bericht über die Leistungen des Instrumentes gegeben werden kann¹⁾.

1) Weitere Versuche während des Druckes und vor allem theoretische Gründe (s. hier A. Schmidt, Die Aberration der Lothlinie) liessen es empfehlenswerth erscheinen, die Form der Pendel zu modifiziren und ihre Masse möglichst nahe an die Achse zu verlegen, denn hierdurch wird die Empfindlichkeit für Neigungsänderungen nur wenig verringert, dagegen diejenige für horizontale Verschiebungen ungemein vergrößert. Sowohl hierüber, wie auch über einige während der Konstruktion eingetretene, Veränderungen in der Aufhängung wird sich im nächsten Hefte der Beiträge zur Geophysik Gelegenheit finden, näher zu berichten. — Da ich es erst später in Erfahrung brachte, muss ich bezüglich der hier auseinandergesetzten Verdreifachung nachträglich bemerken, dass dieselbe bereits früher von A. Schmidt in Stuttgart u. G. Grablovitz in Casamicciola ebenfalls unabhängig von einander eingeführt, jedoch nur auf unempfindlichere Horizontalpendel mit anderer Aufhängung angewendet worden ist.

Lebenslauf.

Geboren zu Berlin am 16. Juni 1871 besuchte ich, Bernhard Friedrich Reinhold Ehlert, von meinem 6. bis 12. Lebensjahre die Vorschule und dann das Gymnasium zu Wiesbaden; sodann, nach dem Tode meiner Eltern, das Friedrich-Wilhelms-Gymnasium zu Berlin, welches ich Michaelis 1890 mit dem Zeugniss der Reife verliess. — Von Oktober 1890 bis Oktober 1891 genügte ich meiner Militärpflicht im Bad. Pion.-Bat. 14 zu Kehl und absolvirte in den folgenden Jahren die beiden Uebungen. — Zugleich liess ich mich November 1890 an der Kaiser-Wilhelms-Universität zu Strassburg immatrikuliren und in die mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät einschreiben. Von Oktober 1891 bis Oktober 1893 hörte ich daselbst Vorlesungen bei den Professoren Dr. Gerland, Kohlrausch, Fittig, Benecke, Bücking, Becker, Krazzer, Kobold, Wislicenus, sowie bei Dr. Hergesell, zugleich besuchte ich das geographische Seminar bei Prof. Dr. Gerland. — Von Oktober 1893 bis Oktober 1894 studirte ich an der Universität Berlin, woselbst ich Vorlesungen bei Prof. Dr. Frhr. v. Richthofen, Helmert, Hensel, Hettner, Finkener (chem. Praktikum), Wahnschaffe, Assmann, Weinstein, Lehmann-Filhés und Rinne hörte und dem Seminar bei Prof. Dr. Frhr. v. Richthofen beiwohnte. — Oktober 1894 kehrte ich nach Strassburg zurück, und trat, inskribirt bei der philosophischen Fakultät, sogleich wieder in das geographische Seminar des Prof. Dr. Gerland ein. Dabei hörte ich Kollegien bei den Herrn Professoren Dr. Gerland, Hensel, Becker, Reye, Weber, Cohn, Wislicenus und Dr. Hergesell. — In der letzten Zeit widmete ich mich vorwiegend der Fortführung und Erweiterung der Horizontalpendeluntersuchungen des verstorbenen Dr. von Rebeur-Paschwitz.

Allen meinen verehrten Lehrern, besonders aber Herrn Prof. Dr. Gerland, Prof. Dr. Frhr. von Richthofen, Prof. Dr. Helmert Prof. Dr. Becker, Prof. Dr. P. Hensel und Herrn Dr. Hergesell, sage ich hierdurch meinen aufrichtigsten Dank.

Ehlert, Reinhold

Horizontalpendelbeobachtungen im Meridian zu Straßburg i.E. von April bis
Winter 1895

1896

Phys.sp. 736 g#Beibd.2

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11822382-0